



# Diretrizes para a Elaboração de **Projetos Básicos** para Empreendimentos de **Transmissão**

Estudos Elétricos,  
Especificação das  
Instalações,  
de Equipamentos e de  
Linhas de Transmissão



Operador Nacional  
do Sistema Elétrico



# **Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão**

**Estudos Elétricos, Especificação  
das Instalações, de Equipamentos  
e de Linhas de Transmissão**

Copyright © 2013 ONS

Todos os direitos reservados. A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação do copyright (Lei n 9.610/98)

### **Diretoria do ONS**

Diretor Geral: Hermes Chipp

Diretor de Administração dos Serviços de Transmissão:

Álvaro Fleury Veloso da Silveira

Diretor de Planejamento e Programação da Operação:

Francisco José Arteiro de Oliveira

Diretor de Operação: Ronaldo Schuck

Diretor de Assuntos Corporativos: István Gárdos

### **Redação:**

Antônio Carlos de Carvalho

Carlos Campinho de Carvalho

Delmo Correia

Hélio Pessoa de Oliveira Junior

Humberto Arakaki

José Augusto Martins Junior

Márcio Accioly Lins

Sérgio Cordeiro Sobral

**Revisão de originais:** Sidney Silveira

**Projeto gráfico e editoração eletrônica:** Assessoria de Planejamento e Comunicação do Operador Nacional do Sistema Elétrico

Qualquer alteração é proibida sem autorização.

### **Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS**

Rua da Quitanda, 196 | Centro

Rio de Janeiro | RJ | 20091-005

[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)

Esta publicação é fruto do amplo diálogo sobre o tema promovido em diversos seminários e reuniões – contribuição imprescindível à realização deste trabalho. O ONS agradece a todos que, direta ou indiretamente, participaram deste processo, como: Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), Empresa de Pesquisa Energética (EPE), transmissoras, empreendedores, consultores, centros de pesquisa e universidades.

## Sumário

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introdução.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>2. Objetivo .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>3. Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos.....</b>                      | <b>12</b> |
| <b>3.1. Estudos Elétricos na Frequência Fundamental .....</b>                     | <b>12</b> |
| 3.1.1. Aspectos Gerais .....  | 12        |
| 3.1.2. Estudo de Fluxo de Carga .....   | 14        |
| 3.1.3. Estudos de Energização de Linha de Transmissão .....                       | 14        |
| 3.1.4. Estudos de Rejeição de Carga .....   | 16        |
| 3.1.5. Estudos Dinâmicos .....  | 17        |
| 3.1.6. Modelo do Relatório do Estudo Elétrico na Frequência Fundamental.....      | 18        |
| 3.1.7. Estudos de Fluxo de Potência em Barramentos.....                           | 18        |
| <b>3.2. Estudos de Transitórios Eletromagnéticos .....</b>                        | <b>20</b> |
| 3.2.1. Aspectos Gerais .....  | 20        |
| 3.2.2. Modelagem da Rede .....  | 23        |
| 3.2.3. Avaliação da Adequação da Compensação Shunt de Linhas de Transmissão ..... | 32        |
| 3.2.4. Estudo de Energização de Linhas de Transmissão .....                       | 35        |
| 3.2.5. Estudo de Religamento Tripolar de Linhas de Transmissão .....              | 38        |
| 3.2.6. Rejeição de Carga .....  | 42        |
| 3.2.7. Estudo de Religamento Monopolar de Linhas de Transmissão .....             | 43        |
| 3.2.8. Estudo de Energização de Transformadores .....                             | 51        |
| 3.2.9. Energização de Banco de Capacitores .....                                  | 59        |
| 3.2.10. Tensão de Restabelecimento Transitória .....                              | 63        |
| 3.2.11. Assimetria das Correntes de Curto-circuito .....                          | 72        |
| 3.2.12. Tensões e Correntes Induzidas em Lâminas de Terra de Seccionadoras .....  | 75        |
| 3.2.13. Estudo de Coordenação de Isolamento.....                                  | 78        |
| 3.2.14. Estudos Associados à Compensação Estática Shunt (CER) .....               | 83        |
| 3.2.15. Estudos Associados à Compensação Série .....                              | 86        |
| <b>4. Diretrizes para a Especificação da Instalação e Equipamentos ....</b>       | <b>91</b> |
| <b>4.1. Aspectos Gerais.....</b>  | <b>91</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 4.1.1. Tensão Nominal e Sobretensão Admissível .....   | 93         |
| 4.1.2. Nível de Isolamento dos Equipamentos .....  | 95         |
| 4.1.3. Corrente Nominal dos Equipamentos.....  | 96         |
| 4.1.4. Barramento das Subestações.....   | 96         |
| <b>4.2. Unidades Transformadoras de Potência .....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>4.3. Reatores em Derivação.....</b>   | <b>103</b> |
| <b>4.4. Banco de Capacitores em Derivação .....</b>  | <b>105</b> |
| <b>4.5. Disjuntores .....</b>  | <b>106</b> |
| <b>4.6. Secionadoras, Lâminas de Terra e Chaves de Aterramento ...</b>   | <b>111</b> |
| <b>4.7. Para-raios.....</b>  | <b>113</b> |
| <b>4.8. Transformadores de Corrente.....</b>   | <b>116</b> |
| <b>4.9. Transformadores de Potencial .....</b>   | <b>117</b> |
| <b>4.10. Compensação Estática Shunt (CER).....</b>   | <b>118</b> |
| <b>4.11. Compensação Série (CS).....</b>   | <b>121</b> |
| <b>5. Referências para Estudos e Equipamentos.....</b>   | <b>125</b> |
| <b>6. Diretrizes e Critérios para Linha de Transmissão .....</b>   | <b>127</b> |
| <b>6.1. Definição do Traçado Preliminar .....</b>  | <b>127</b> |
| <b>6.2. Levantamento dos Parâmetros Meteorológicos.....</b>  | <b>128</b> |
| 6.2.1. Temperatura Ambiente .....  | 128        |
| 6.2.2. Velocidade de Vento .....   | 130        |
| 6.2.3. Umidade Relativa do Ar e Pressão Atmosférica .....  | 132        |
| 6.2.4. Descargas Atmosféricas .....  | 132        |
| <b>6.3. Escolha do Condutor .....</b>  | <b>133</b> |
| <b>6.4. Cálculo das Capacidades Operativas.....</b>  | <b>134</b> |
| <b>6.5. Cálculo da Capacidade de Corrente dos Cabos Para-raios e Definição dos Pontos de Troca de Bitola.....</b>      | <b>136</b> |
| 6.5.1. Cálculo da Capacidade de Corrente dos Cabos Para-raios de Nova Linha de Transmissão.....                        | 138        |
| 6.5.2. Verificação das Capacidades de Corrente dos Cabos Para-raios Existentes de Linha de Transmissão Seccionada..... | 139        |
| <b>6.6. Avaliação das Perdas de Potência Ativa no Condutor e nos Cabos Para-raios.....</b>                             | <b>140</b> |
| 6.6.1. Perda de Potência Ativa no Condutor .....   | 140        |
| 6.6.2. Perda de Potência Ativa nos Cabos Para-raios .....  | 140        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>6.7. Avaliação dos Desequilíbrios de Tensão e Transposição das Fases .....</b>   | <b>140</b> |
| <b>6.8. Estudo de Coordenação de Isolamento e Definição dos Espaçamentos Fase-terra e entre Fases no Topo da Estrutura .....</b>          | <b>141</b> |
| 6.8.1. Determinação do Ângulo de Balanço da Cadeia de Isoladores. ....  | 141        |
| 6.8.2. Desempenho da LT à Tensão na Frequência Nominal do Sistema .....   | 142        |
| 6.8.3. Desempenho da LT às Sobretensões de Manobra .....  | 143        |
| 6.8.4. Desempenho da LT às Descargas Atmosféricas .....   | 144        |
| <b>6.9. Cálculo dos Parâmetros Elétricos .....</b>  | <b>145</b> |
| <b>6.10. Determinação da Largura da Faixa de Passagem .....</b>   | <b>145</b> |
| <b>6.11. Cálculo das Distâncias de Segurança Condutor ao Solo e Condutor aos Obstáculos .....</b>   | <b>146</b> |
| <b>6.12. Cálculo Mecânico dos Cabos.....</b>  | <b>147</b> |
| 6.12.1. Temperaturas Ambientes Adotadas nas Avaliações de Desempenho Mecânico .....   | 147        |
| 6.12.2. Velocidades de Vento de Projeto .....   | 147        |
| 6.12.3. Condições de Governo dos Cabos .....  | 148        |
| <b>6.13. Definição da Série de Estruturas, Hipóteses de Carregamento e Árvores de Carga .....</b>   | <b>148</b> |
| <b>6.14. Definição do Sistema de Aterramento das Estruturas .....</b>   | <b>149</b> |
| <b>6.15. Definição das Fundações Típicas.....</b>   | <b>149</b> |
| <b>7. Referências para Linhas de Transmissão .....</b>  | <b>151</b> |
| <b>8. Sugestões de Padronização de Relatórios de Estudos .....</b>  | <b>152</b> |
| <b>8.1. Frequência Fundamental.....</b>   | <b>152</b> |
| <b>8.2. Fluxo de Potência em Barramentos .....</b>  | <b>162</b> |
| <b>8.3. Cálculo de Parâmetros de LT .....</b>   | <b>163</b> |
| <b>8.4. Transitórios Eletromagnéticos de Energização de Linhas, Religamento Tripolar e Rejeição de Carga.....</b>                         | <b>168</b> |
| <b>8.5. Transitórios Eletromagnéticos de Religamento Monopolar de Linhas de Transmissão.....</b>  | <b>179</b> |
| <b>8.6. Transitórios Eletromagnéticos de Energização de Transformadores.....</b>  | <b>185</b> |
| <b>8.7. TRT, Abertura de Linhas de Transmissão em Vazio, Manobra de Lâminas de Terra de Seccionadoras de Aterramento e Assimetria das</b> |            |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Correntes de Curto-Circuito .....</b>                               | <b>190</b> |
| <b>8.8. Coordenação de Isolamento .....</b>                            | <b>198</b> |
| <b>9. Planilhas de Dados Técnicos.....</b>                             | <b>202</b> |
| <b>9.1. Transformadores de Potência .....</b>                          | <b>202</b> |
| <b>9.2. Reatores em Derivação.....</b>                                 | <b>204</b> |
| <b>9.3. Bancos de Capacitores em Derivação .....</b>                   | <b>206</b> |
| <b>9.4. Disjuntores .....</b>  | <b>207</b> |
| <b>9.5. Secionadoras .....</b>   | <b>209</b> |
| <b>9.6. Para-raios.....</b>  | <b>210</b> |
| <b>9.7. Transformadores de Corrente.....</b>                           | <b>211</b> |
| <b>9.8. Transformadores de Potencial .....</b>                         | <b>212</b> |
| <b>9.9. Compensadores Estáticos.....</b>                               | <b>213</b> |
| <b>9.10. Capacitores Série .....</b>                                   | <b>214</b> |
| <b>9.11. Bobina de Bloqueio .....</b>                                  | <b>217</b> |
| <b>9.12. Compensador Síncrono .....</b>                                | <b>218</b> |
| <b>9.13. Reator Limitador de Corrente de Curto-Circuito .....</b>      | <b>219</b> |
| <b>9.14. Filtro de Harmônicos Passivo.....</b>                         | <b>220</b> |
| <b>9.15. Capacitores Série .....</b>                                   | <b>221</b> |
| <b>9.16. Reator de Alisamento .....</b>                                | <b>223</b> |
| <b>9.17. Filtro PLC.....</b>   | <b>224</b> |
| <b>9.18. Linha de Transmissão em Corrente Alternada e Contínua ...</b> | <b>225</b> |
| <b>9.19. Linha de Transmissão Subterrânea em Corrente Alternada .</b>  | <b>227</b> |

## 1. Introdução

O ONS tem como atribuição a participação no processo de definição e de incorporação de novas instalações à Rede Básica. Por meio do PAR – Plano de Ampliações e Reforços, o ONS incorpora a visão da operação do sistema nas soluções propostas pelo planejamento, atribuição da EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Como Poder Concedente, o MME compatibiliza as obras propostas pela EPE e PAR, definindo o rol de obras que comporão os leilões da transmissão. À ANEEL cabe a coordenação do processo do leilão.

Na fase de detalhamento das instalações a ser leiloadas, conforme previsto no submódulo 2.2 dos Procedimentos de Rede, o ONS define os requisitos técnicos, alinhando-os aos Procedimentos de Rede e visando a assegurar a confiabilidade e a flexibilidade operativa do SIN. Com esta finalidade, participa da definição dos requisitos que compõem os Anexos Técnicos dos leilões de Transmissão, atuando conjuntamente com a ANEEL.

Uma vez realizado o leilão da transmissão, o Agente ganhador da concessão possui tempo definido em edital para a apresentação do projeto básico da nova instalação de transmissão. O objetivo do projeto básico é a apresentação das características técnicas e das premissas de engenharia das instalações, assim como das especificações básicas dos equipamentos de transmissão, proteção, controle e comunicação que comporão a nova instalação.

Conforme também previsto no submódulo 2.2 dos Procedimentos de Rede, compete ao ONS emitir parecer sobre a conformidade do projeto básico do empreendimento leiloadado aos Procedimentos de Rede e aos requisitos técnicos do edital do leilão.

A experiência do ONS e da ANEEL, na análise de projetos básicos de empreendimentos da transmissão, iniciada por volta do ano 2000, leva à conclusão de que existe espaço para a otimização do processo de elaboração, análise e aprovação de projetos básicos. Uma das formas vislumbradas para atender a este intento é a maior padronização no processo de elaboração e consequente apresentação de projetos básicos. Tal providência tornaria mais eficiente e ágil o processo de análise, colaborando para uma finalização mais rápida do processo de aprovação de projeto básico — o que seria benéfico não somente para as Transmissoras, mas também para o Regulador e Operador do sistema.

Desta forma, o ONS elaborou o presente documento contendo as diretrizes para o projeto básico a ser divulgado e discutido com os Agentes do Setor Elétrico, no intuito de otimizar o processo de implantação de novos empreendimentos de transmissão. Ressalta-se, entretanto, que a responsabilidade pela elaboração, conteúdo e abrangência do projeto básico é do Agente Transmissor detentor da concessão.

## 2. Objetivo

Reitere-se que o objetivo deste documento é apresentar diretrizes para os projetos básicos de empreendimentos da transmissão. A sua organização levou em conta o tipo de segmentação dos tópicos normalmente aplicáveis a um projeto básico.

De forma geral, um projeto básico pode subdividir-se em quatro grupos principais de documentos: estudos elétricos (a frequência fundamental e de transitórios eletromagnéticos), especificação de subestações e equipamentos (arranjos, desenhos, barramentos e equipamentos principais), estudos e dimensionamento básico de linhas de transmissão e aspectos operacionais (Supervisão e Controle, Telecomunicação e Proteção). O presente documento se limita a abordar os três primeiros grupos, ou seja, estudos, instalações/equipamentos e linhas de transmissão. Os demais grupos serão abordados em documentos futuros.

A partir das análises de projeto básico realizadas pelo ONS nos últimos 10 anos, constatou-se que os percentuais nos projetos básicos cujos tópicos específicos puderam ser aprovados na primeira versão do projeto foram:

- Estudos a Frequência Fundamental: 55% dos projetos;
- Estudos de Transitórios Eletromagnéticos: 44% dos projetos;
- Especificações de Subestações e Equipamentos: 46% dos projetos.
- Estudos e projetos de linhas de transmissão: 65% dos projetos.

Algumas das questões identificadas durante a análise são recorrentes. Exemplo típico, entre diversos outros, é a inadequada coordenação entre o projeto da linha ou da especificação dos equipamentos e os estudos de transitórios eletromagnéticos.

Em suma, o número médio de revisões dos Projetos Básicos tem sido elevado: acima de 3 além da emissão inicial. Isto envolve retrabalho tanto da Transmissora quanto do ONS e da ANEEL, retardando o processo de aprovação do projeto.

Este documento procura expor, de forma clara e com nível de detalhamento necessário, o que em linhas gerais deve constar dos Projetos Básicos das novas instalações de Transmissão. Não é seu propósito substituir livros texto nem guias de execução de projeto. Referências técnicas são citadas ao longo do texto, e podem servir de base para um maior detalhamento do assunto abordado.

A elaboração deste documento permite ao leitor concentrar-se diretamente no assunto de seu interesse, não havendo necessidade da leitura do todo para o entendimento das partes.

## 3. Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos

### 3.1. Estudos Elétricos na Frequência Fundamental

Objetivam demonstrar, sob o aspecto da frequência fundamental, a conformidade do projeto básico da instalação aos requisitos técnicos estabelecidos no anexo técnico do lote do leilão de transmissão ao qual o empreendimento em análise está associado e aos requisitos mínimos dos Procedimentos de Rede.

#### 3.1.1. Aspectos Gerais

##### 3.1.1.1. Configuração da Rede e Base de Dados

O desempenho do sistema elétrico e da instalação deve ser estudado considerando-se o ano previsto para a entrada em operação do empreendimento. Esta condição deverá refletir a topologia real existente na época do comissionamento das novas instalações e pode diferir daquela considerada pelos estudos de planejamento.

Também devem ser efetuadas avaliações para horizonte mais à frente, em função da evolução da configuração do sistema, levando-se em conta a existência do período de concessão.

Na preparação das bases de dados para os estudos na frequência fundamental, é necessário observar os seguintes aspectos associados aos componentes do empreendimento, conforme relacionados no anexo técnico do edital:

- Para as linhas de transmissão, os parâmetros devem corresponder aos apresentados nos estudos de projeto básico das linhas de transmissão, de acordo com as exigências do anexo técnico do edital;
- Para os equipamentos (transformadores, reatores, banco de capacitores, compensação estática shunt e compensação série de linhas de transmissão), os parâmetros e ajustes de componentes devem atender aos requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital.

Na fase de projeto básico, a utilização de valores típicos é admissível para os equipamentos, não estando ainda disponíveis os dados dos fabricantes. Todavia, devem-se tomar como referência os dados de equipamentos de mesmo porte, existentes em instalações similares já em operação no SIN - Sistema Interligado Nacional.

Devem-se utilizar as seguintes bases de dados para as simulações na frequência fundamental, em correspondência com os horizontes a ser avaliados e apresentados no estudo:

- Base de dados do ONS – PAR (Plano de Ampliação e Reforços, disponível em

<[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>), para as análises referentes ao ano de entrada em operação do empreendimento;

- Base de dados da EPE – PD (Plano Decenal, disponível em <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>), para as análises relacionadas com a evolução da rede em anos mais à frente, adotando-se como referência o horizonte do plano decenal da EPE.

### 3.1.1.2. Tipos de Estudos – Documentos de Referência e Ferramentas de Simulação Aplicáveis

Os estudos elétricos na frequência fundamental devem demonstrar a conformidade do projeto básico da instalação (linhas de transmissão e equipamentos) aos requisitos estabelecidos no anexo técnico do lote em análise. Neste contexto, independentemente da configuração proposta, deve-se apresentar um número mínimo de estudos, englobando os seguintes tipos:

- Fluxo de carga;
- Rejeição de carga;
- Energização de linha de transmissão;
- Estudos dinâmicos;
- Fluxo de potência nos barramentos das subestações.

Em função das características do empreendimento, pode ser que determinado tipo de estudo não se aplique, sendo, portanto, dispensada a sua apresentação.

No anexo técnico do edital existe um item dedicado à demonstração da conformidade dos equipamentos, no qual são relacionados os tipos de estudos que, obrigatoriamente, devem ser apresentados pela TRANSMISSORA.

Para a elaboração dos estudos na frequência fundamental, consideram-se indispensáveis as orientações e diretrizes contidas nos seguintes documentos:

- Anexo Técnico do Edital da Aneel do correspondente Lote do Leilão de Transmissão;
- Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, que contém as diretrizes e os critérios para estudos elétricos.
- Relatório R1 da EPE – Estudos para a Licitação da Expansão da Transmissão – Análise técnico-econômica das alternativas;
- Relatório R2 da EPE – Detalhamento da Alternativa de Referência;

Visando a garantir a reprodutibilidade dos estudos, as ferramentas de simulação para a sua realização devem ser as de uso oficial no SIN, programas ANAREDE, ANATEM, ANAT0 e ANAFAS do CEPEL.

### 3.1.2. Estudo de Fluxo de Carga

O estudo de fluxo de carga deve analisar as condições da rede em regime normal de operação e sob condição de emergência de um dos componentes da transmissão (n-1).

Para ambas as condições, é necessário observar o limite de tensão nos barramentos e os limites de carregamento (longa duração e curta duração) das linhas de transmissão e de equipamentos associados ao empreendimento, com o objetivo de comprovar a adequação da instalação aos requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital.

As análises de fluxo de carga devem considerar as condições de carga, cenários de intercâmbios e despachos de geração os mais críticos possíveis, sob os aspectos do controle da tensão e da imposição de carregamentos nos componentes da rede.

Caso a instalação de unidades transformadoras faça parte do empreendimento, o estudo deve comprovar que a faixa de tapes estabelecida pelo Anexo Técnico é adequada e suficiente para permitir o controle da tensão dentro das necessidades da rede e, caso não o seja, deverá apontar a nova faixa a ser atendida.

Na hipótese de os bancos série fazerem parte do empreendimento, devem-se identificar as tensões máximas em regime permanente, às quais ficarão sujeitas as suas barras terminais, em condições nominais de operação e de sobrecarga por 30 minutos.

Também devem ser verificadas e relatadas eventuais violações de tensões e de carregamentos que vierem a ocorrer na rede elétrica de operação adjacente ao empreendimento, em função da sua entrada em operação.

Os limites de tensão e de carregamentos a ser observados devem corresponder aos limites estabelecidos no anexo técnico do edital, e, quando não informados naquele documento, deve-se adotar como referência o disposto no submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

As avaliações de fluxo de carga precisam contemplar a configuração da rede correspondente ao ano previsto para a entrada em operação do empreendimento, adotando-se como referência os casos base do plano de ampliações e reforços do ONS (PAR-ONS). Também é necessário que sejam efetuadas avaliações para configurações futuras, adotando-se como referência os casos base no horizonte do plano decenal da EPE (PDE-EPE).

### 3.1.3. Estudos de Energização de Linha de Transmissão

Têm por objetivo identificar se a compensação reativa definida para a linha é adequada, bem como identificar se os recursos de controle de tensão, a montante da manobra, são suficientes para garantir as condições de pré-manobra necessárias.

Os estudos devem demonstrar que a energização da linha é possível, sem a necessidade de adoção de restrições de operação, de qualquer tipo. Se, para atingir tais objetivos, houver necessidade de equipamentos/instalações adicionais, o estudo deverá recomendar a sua aquisição. Neste caso, o ONS tomará ciência do fato e encaminhará as tratativas necessárias junto à ANEEL, para sanar estas questões.

O estudo de energização de linha de transmissão deve pesquisar as máximas tensões de regime permanente e dinâmico na extremidade da linha de transmissão e nas barras das subestações, com o objetivo de verificar a sua adequação aos limites estabelecidos no anexo técnico do edital.

Este estudo deve subsidiar o dimensionamento dos equipamentos terminais — como, por exemplo, reatores de linha — situados nas extremidades das linhas de transmissão, considerando-se que estes possam ficar em vazio e sujeitos ao valor da tensão sustentada estabelecido no anexo técnico do edital por até uma hora.

Sua realização deve dar-se, em princípio, para ambos os sentidos de energização da linha de transmissão em análise, tomando-se como ponto de partida configurações que resultem de solicitações mais severas, o que geralmente é obtido em casos de fluxo de carga ajustados com menor número de unidades geradoras sincronizadas e com a máxima tensão de pré-manobra na barra do terminal a ser manobrado. A tensão de pré-manobra deve corresponder ao limite estabelecido no anexo técnico do edital, para a máxima tensão de regime permanente permitido para a barra correspondente ao ponto da manobra.

No caso da existência de compensação série na linha de transmissão manobrada, a energização deverá ser possível, mesmo com o banco de capacitores série by-passado.

No desenvolvimento do estudo de energização de linhas de transmissão, devem-se considerar as compensações reativas indutivas recomendadas no anexo técnico do edital para as extremidades da linha de transmissão “em operação”, com o objetivo de comprovar a sua efetividade no controle das sobretensões.

Se houver compensação reativa indutiva em derivação prevista para a barra, é preciso considerá-la no estudo da energização da linha de transmissão “fora de operação”, e, a seguir, verificar o efeito da inserção dessa compensação no controle das sobretensões, se for necessário.

No caso da existência de compensador estático shunt ou compensador síncrono associado ao empreendimento, deve-se considerá-lo “disponível”, devendo-se verificar o impacto da sua indisponibilidade na energização da linha de transmissão.

No caso de linhas de transmissão curtas, o estudo de energização pode vir a ser dispensado, devendo-se, neste caso, ser apresentada uma justificativa embasada em argumentos técnicos.

### 3.1.4. Estudos de Rejeição de Carga

O estudo de rejeição de carga deve pesquisar as máximas tensões de regime permanente e dinâmico na extremidade da linha de transmissão e nas barras das subestações, com o objetivo de verificar a sua adequação aos limites estabelecidos no anexo técnico do edital.

Este estudo pode, inclusive, identificar condições de abertura desfavoráveis para o disjuntor situado a montante da rejeição de carga, no momento em que ocorre a transferência de disparo para o isolamento da linha sob defeito, durante a ocorrência da sobretensão no instante imediatamente após a rejeição ( $t_0+$ ).

Este estudo, em conjunto com o de energização da linha de transmissão — conforme apresentado no item 3.1.4 —, identifica a necessidade de compensação reativa fixa na linha de transmissão, considerando que os equipamentos terminais situados na extremidade aberta das linhas de transmissão podem ficar em vazio e sujeitos ao valor da tensão sustentada estabelecido no anexo técnico do edital por até uma hora.

Nos casos de linha de transmissão para escoamento de parque gerador, a rejeição de carga pode identificar problemas relacionados à autoexcitação, se porventura o montante de reativos a ser absorvidos pelas unidades geradoras for superior a sua capacidade de absorção, por exemplo. Tal fato pode ser indicativo da necessidade de compensação reativa fixa, inclusive no extremo emissor.

É necessário que as análises sejam realizadas para ambos os terminais da linha, e devem-se adotar casos de fluxo de carga ajustados com a maior condição de carregamento possível na linha de transmissão, tendo em vista a maximização do impacto da rejeição de carga.

Em se tratando de linha de transmissão de circuito duplo CD, deve-se também efetuar a análise da rejeição dupla ( $C1 + C2$ ).

No desenvolvimento do estudo de rejeição de carga, é preciso considerar as compensações reativas indutivas recomendadas no anexo técnico do edital para as extremidades da linha de transmissão “em operação”, com o objetivo de comprovar a sua efetividade no controle das sobretensões.

Se houver compensação reativa indutiva em derivação prevista para a barra, deve-se considerá-la no estudo da rejeição de carga “fora de operação”, e, a seguir, deve-se verificar o efeito da inserção dessa compensação no controle das sobretensões, quando necessário.

No caso da existência de compensador estático shunt ou compensador síncrono associado ao empreendimento, deve-se considerá-lo “disponível” e verificar o impacto de sua indisponibilidade na rejeição de carga.

No tocante às linhas de transmissão curtas, o estudo de rejeição de carga pode vir a ser dispensado,

devendo-se, nesse caso, ser apresentada uma justificativa embasada em argumentos técnicos.

### 3.1.5. Estudos Dinâmicos

Os estudos dinâmicos devem ser apresentados quando solicitados pelo anexo técnico do edital ou desenvolvidos de maneira complementar, visando a subsidiar a especificação de equipamentos ou em apoio aos estudos de transitórios eletromagnéticos associados a manobras condicionadas ao comportamento dinâmico do sistema.

A seguir são relacionadas as principais situações para as quais são necessários o desenvolvimento e a apresentação de estudos dinâmicos.

- **Geradores e compensadores síncronos:** quando estes existirem dentre os equipamentos que fazem parte dos empreendimentos relacionados no anexo técnico do edital, deve-se apresentar o estudo de estabilidade eletromecânica, considerando-os integrados ao sistema. Devem-se englobar análises de manobras de energização, rejeição de carga e emergências (abertura de linha de transmissão após aplicação de curto-circuito). O estudo deve ser desenvolvido — caso ainda não esteja disponível o modelo definitivo dos sistemas de controle da unidade geradora ou do compensador síncrono — com a utilização de modelos típicos, implementados na base de dados do programa ANATEM.
- **Compensação estática shunt (CER):** quando esta existir dentre os equipamentos que fazem parte dos empreendimentos relacionados no anexo técnico do edital, deve-se apresentar o estudo da resposta dinâmica do CER frente a manobras de energização, rejeição de carga e sob emergências (abertura de linha de transmissão após aplicação de curto-circuito). Se ainda não estiver disponível o modelo definitivo do sistema de controle do CER, é preciso adotar modelo típico, implementado na base de dados do programa ANATEM. Deve também ser obtido junto ao fabricante o modelo final do CER para simulação dinâmica com o programa ANATEM. Esse modelo deve ser encaminhado ao ONS, conforme exigido no anexo técnico do edital.
- **Compensação série:** quando esta existir para a linha de transmissão, dentre os equipamentos que fazem parte dos empreendimentos relacionados no anexo técnico do edital, deve-se desenvolver estudo dinâmico com o objetivo de obter a corrente máxima de swing (primeiro swing), que ficará sujeito ao banco de capacitor série durante oscilações de potência no sistema elétrico, após a ocorrência de faltas na barra da compensação série. Este estudo deve ser encaminhado ao fabricante para efeito do dimensionamento da compensação série.
- **Viabilidade do religamento monopolar:** se houver necessidade e o estudo da extinção do arco secundário assim o exigir, deve ser demonstrado, por meio da realização de estudo

dinâmico, que a adoção de tempo morto para o religamento monopolar superior a 500ms não compromete o desempenho dinâmico do sistema.

- **Abertura em oposição de fase:** em apoio aos estudos das tensões de restabelecimento transitórias de disjuntores, pode-se optar por identificar a pior condição de defasagem angular a ser imposta ao disjuntor, por meio da realização de estudo dinâmico, simulando — a partir de uma condição de rede degradada ou não — a separação de blocos de geração, com a perda do sincronismo entre eles.

Outros tipos de demanda por estudos dinâmicos podem vir a ser identificados e apresentados durante o desenvolvimento dos estudos de projeto básico.

Os estudos dinâmicos devem ser realizados adotando-se a base de dados do ONS para estudos de transitórios eletromecânicos (disponível em <[www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)>).

### **3.1.6. Modelo do Relatório do Estudo Elétrico na Frequência Fundamental**

O relatório dos estudos elétricos na frequência fundamental deve reunir, em um único volume, todos os estudos elétricos de sistema solicitados pelo anexo técnico do edital (tais como fluxo de potência, energização de linha de transmissão, rejeição de carga e estudos dinâmicos). O estudo de fluxo de potência nos barramentos da subestação deve ser apresentado em documento à parte.

Quanto ao seu conteúdo, é recomendável, tendo em vista a emissão do parecer pela Aneel, que este possua redação clara e objetiva, com foco na comprovação da conformidade do projeto básico da instalação aos requisitos técnicos estabelecidos no anexo técnico do edital.

O item 8.1 apresenta uma sugestão de itens para o relatório dos estudos elétricos na frequência fundamental.

### **3.1.7. Estudos de Fluxo de Potência em Barramentos**

Os resultados obtidos com a execução dos estudos de fluxo de potência nos barramentos de subestações objetivam o dimensionamento destes, viabilizando a seleção do condutor constituinte (cabo(s) ou tubo) adequado. Tais condutores também possuem importante papel no dimensionamento dos equipamentos (disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores de corrente e barramentos) que constituem os vãos de interligação. Portanto, a execução desses estudos deverá garantir que os dimensionamentos de tais barramentos e vãos de interligação não se tornem um elemento limitador para o pleno uso futuro da subestação.

### 3.1.7.1. Desenvolvimento dos Estudos

O desenvolvimento destes estudos depende do atendimento às quatro premissas a seguir:

- **Conhecimento da disposição física:** Os estudos somente devem ser executados com o conhecimento da posição exata a ser ocupada por cada conexão (linha, transformador, disjuntor de acoplamento/transferência, reator de barra, etc.) ao longo do barramento. Essa informação é obtida realizando-se o confronto entre os diagramas unifilares (1ª Etapa e Futuro) e a planta básica da instalação (nas suas versões definitivas da etapa de Projeto Básico), pois é por intermédio desse modelo preciso que se obtêm os fluxos que circulam em cada seção do barramento (trechos entre conexões adjacentes).
- **Carregamentos admissíveis:** É necessário o conhecimento prévio dos carregamentos máximos admissíveis em cada conexão (longa e curta duração para linhas de transmissão) e sobrecargas para as transformações. Esses dados normalmente estão disponíveis no anexo técnico do edital para a 1ª Etapa e ampliações. No caso de expansão de instalações, o existente é obtido no relatório R4 da EPE ou então junto à(s) operadora(s) proprietária(s).
- **Condições de carga/configurações de pátio:** Atendidas as duas exigências anteriores, estabelecem-se, a seguir, as condições de carga/configurações de pátio a ser adotadas nos estudos. Duas e, às vezes, três condições devem ser estudadas:
  - A primeira corresponde à configuração da 1ª Etapa ou ampliação da subestação e utiliza a base de dados do caso de fluxo de potência PAR- ONS e respectivos carregamentos, relativos à data prevista para sua entrada em operação;
  - A segunda utiliza a base de dados do caso de fluxo de potência da EPE com carregamentos previstos e respectiva configuração da subestação, obtidos do Plano Decenal e correspondentes ao horizonte mais à frente disponível.

Frequentemente, as condições de carregamento (baixo em relação ao admissível pelas conexões) e de configuração se assemelham. Neste caso, torna-se necessário processar uma terceira condição, em que a configuração plena da subestação é explorada (levando-se em conta a sua evolução prevista, obtida do anexo técnico do edital e/ou do relatório R4).

Deve também ser explorada, para identificação de limites e comparação com os valores encontrados anteriormente, a utilização das linhas e transformações em sua capacidade máxima, mesmo que os fluxos de potência identifiquem valores mais baixos.

- **Contingências:** O estudo do fluxo de potência em barramento sob condição de emergência deve ser desenvolvido a partir da condição de configuração íntegra da subestação, simulando-se a perda de elementos tanto internos quanto externos à mesma (regra geral:

condição  $n - 1$ ).

A escolha das contingências deve ser feita objetivando o maior impacto em termos da circulação de correntes nos elementos internos à subestação.

A seguir, apresentam-se algumas particularidades a ser observadas como diretrizes na seleção das emergências, em função do tipo de arranjo de barramentos adotado:

- Arranjo barra principal e transferência (BPT): a partir dos resultados obtidos para a configuração normal da subestação, considerar os efeitos da conjugação de posição física ocupada no barramento pelo disjuntor de transferência; conexão mais carregada transferida; e posição física das demais conexões (fontes ou cargas), na identificação da(s) seção(s) do barramento que poderão ser mais carregados (trata-se de uma análise caso a caso);
- Arranjo barra dupla a quatro ou cinco chaves (BD4 ou BD5): neste tópico, considerando que o disjuntor de acoplamento também exerce o papel de transferência, aplica-se a mesma diretriz para o arranjo BPT.
- Considerar contingências nas quais o disjuntor de acoplamento pode ter que suportar o fluxo total no sentido geração-transmissão ou “fonte”-“carga” da subestação (por exemplo: todas as conexões “fonte” ligadas ao barramento I e as conexões “carga” ao barramento II);
- Arranjo barra dupla disjuntor e meio (DJM): dentre as contingências a ser estudadas, deve-se contemplar a perda de uma das barras da subestação.

Na eventualidade de haver mais de uma conexão “fonte”, considerar a indisponibilidade do disjuntor de interligação (IB) de uma delas associada à perda de outra conexão “fonte” (o mesmo se aplica às conexões tipo “carga”).

### 3.1.7.2. Relatório de Apresentação dos Resultados

O item 8.2 apresenta uma sugestão de itens para o relatório dos estudos de fluxo de potência em barramentos.

## 3.2. Estudos de Transitórios Eletromagnéticos

### 3.2.1. Aspectos Gerais

Embora as instalações do SIN operem, na maior parte do tempo, em condições de regime permanente, elas devem ser projetadas e seus equipamentos especificados para suportar as maiores solicitações a que possam ser submetidas.

Desta forma, os condicionantes advindos da operação durante condições transitórias são os que, na maior parte das vezes, determinam a especificação dos componentes da instalação.

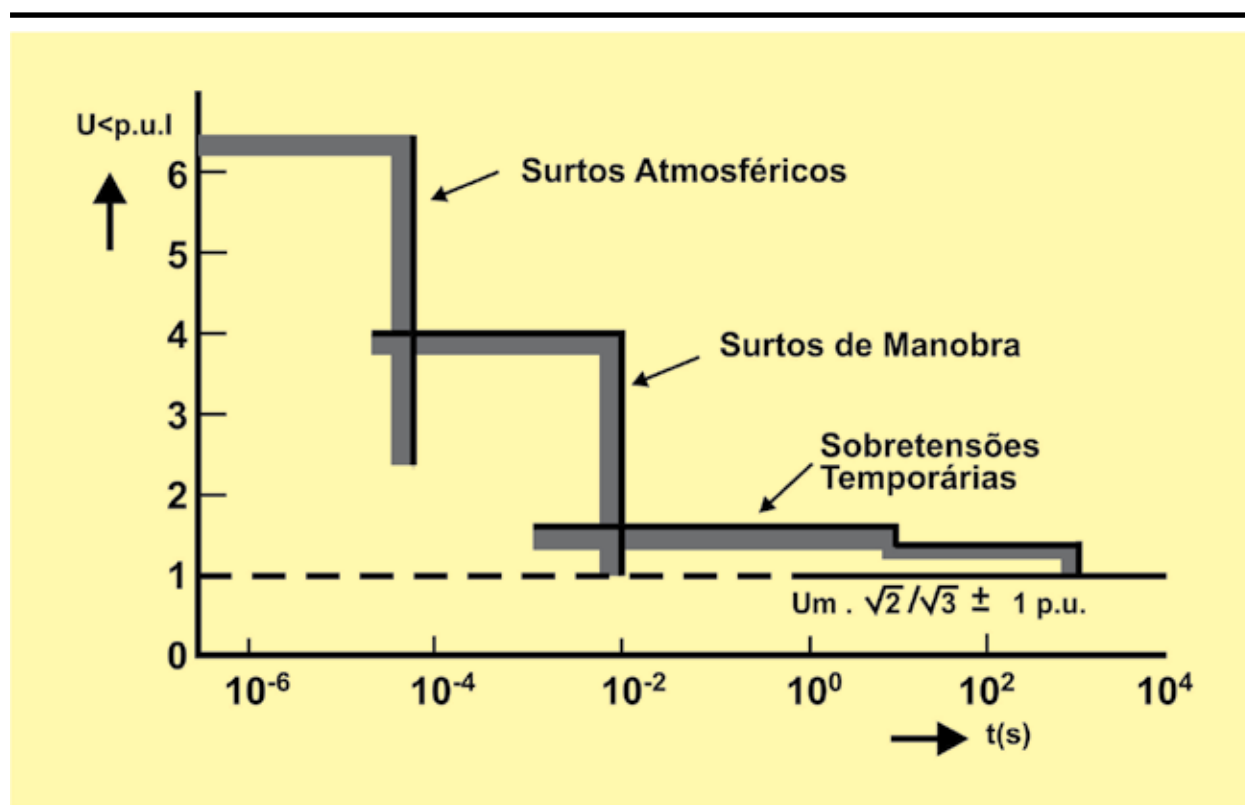
O objetivo do projeto básico é identificar as solicitações mais severas dos equipamentos e especificá-los de acordo.

Tais solicitações não necessariamente ocorrerão durante condições operativas usuais. Daí a necessidade de separar os estudos de dimensionamento (projeto básico) dos estudos operativos.

De forma geral, é possível subdividir as grandezas a ser acompanhadas durante a operação transitória da rede em quatro grandes grupos: sobretensões, sobrecorrentes, formas de onda “anormais” (harmônicos) e transitórios eletromagnéticos/eletromecânicos (torques transitórios/ oscilações subsíncronas, fenômenos que possam também necessitar de representação trifásica).

A Figura 3.1. ilustra os tipos de sobretensão encontrados:

Figura 3.1. Representação Esquemática Tipos de Sobretensão em Sistemas EAT[5.3].



Ressalta-se que nem sempre é possível classificar as sobretensões de forma completamente estanque. Muitos eventos resultam de combinações dos tipos acima mencionados.

Os engenheiros responsáveis pela elaboração dos estudos de transitórios eletromagnéticos devem ter consciência de que não existe uma forma única de modelar os elementos da rede analisada. Essa modelagem dependerá do tipo de fenômeno e das características da rede. Uma modelagem inadequada levará a resultados inconsistentes.

Os tipos de estudos de transitórios eletromagnéticos necessários ao projeto básico das instalações podem variar, dependendo dos equipamentos que fazem parte do empreendimento (existência de transformadores, banco de capacitores, reatores, compensadores estáticos, dentre outros), como também das características das linhas de transmissão existentes.

Dependendo dos aspectos acima mencionados, é necessário desenvolver e apresentar — no conjunto de atividades necessárias ao projeto básico da instalação — os seguintes tipos de estudos de transitórios eletromagnéticos:

- Energização de linhas de transmissão;
- Religamento tripolar de linhas de transmissão;
- Religamento monopolar de linhas de transmissão;
- Ressonância por indução em linhas compensadas por reatores em derivação:
  - Ressonância por indução em linhas que utilizam religamento monopolar;
  - Ressonância por indução em linhas paralelas.
- Tensões e correntes induzidas em circuitos paralelos e seus efeitos em lâminas de terra de seccionadoras;
- Energização de transformadores;
- Manobra de banco de capacitores:
  - Energização (um só banco ou back to back);
  - Eliminação de curto próximo a banco de capacitores.
- Rejeição de carga;
- Tensão de restabelecimento transitória, compreendendo:
  - Curto-circuito terminal;
  - Curto-circuito quilométrico;
  - Abertura de linha de transmissão em vazio;
  - Abertura em discordância de fases;
  - Abertura de pequenas correntes indutivas.
- Assimetria das correntes de curto-circuito;
- Coordenação de isolamento;
- Estudos associados à compensação estática shunt;

- Estudos associados à compensação série.

No anexo técnico do edital há um item dedicado à demonstração da conformidade dos equipamentos, no qual são relacionados os tipos de estudos cuja apresentação é obrigatória.

Estudos de recomposição de rede não fazem parte do rol de estudos do projeto básico. Entretanto, para o dimensionamento adequado dos equipamentos constantes da concessão de transmissão, muitas vezes é necessário avaliar configurações/topologias de rede que são ou poderão vir a ser utilizadas em processos deste tipo.

Isso pode ser determinante para os equipamentos dimensionados por estudos de energização de transformadores ou de linhas de transmissão. Não se trata de estudar a recomposição, mas de dotar os equipamentos das características necessárias para que, se necessário, venham a ser utilizados em processos desta natureza.

Devem-se considerar, para a elaboração dos estudos de transitórios eletromagnéticos, as informações contidas nos seguintes documentos, por ordem de prioridade:

- Anexo técnico do edital da Aneel do correspondente lote do leilão de transmissão;
- Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, contendo as diretrizes e os critérios para estudos elétricos;
- Relatório R2 da EPE – Detalhamento da Alternativa de Referência.
- Relatório R1 da EPE – Estudos para a Licitação da Expansão da Transmissão – Análise técnico-econômica das alternativas.

Um dos aspectos mais importantes no desenvolvimento dos estudos de transitórios eletromagnéticos refere-se à modelagem da rede e ao ajuste da base de dados para as simulações com o ATP (Alternative Transient Program). A isto se dedica o item 3.2.2 do presente documento.

Algumas publicações são particularmente indicadas como referência para modelagem e simulações de transitórios eletromagnéticos, tais como as referências 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 e 5.13.

### **3.2.2. Modelagem da Rede**

#### **3.2.2.1. Barras de Fronteira – Equivalentes de Curto-Circuito**

As redes elétricas, ao operar em regime permanente, em mudanças bruscas (tensão ou corrente), ficam submetidas a transitórios, até que se atinja novo regime permanente.

Os componentes da rede podem apresentar respostas oscilatórias (amortecidas ou não) a estímulos que variam com a frequência de excitação. As características não lineares de diversos equipamentos podem ocasionar o surgimento de frequências diferentes da fundamental — à qual se superpõem.

Nesse contexto, a relação de impedâncias no ponto de injeção do surto e a representação das não linearidades dos equipamentos impactam o resultado das simulações de transitórios eletromagnéticos.

Ao contrário das simulações de fluxo de potência, onde a rede é considerada equilibrada e a representação é monofásica, nas simulações de transitórios eletromagnéticos deve-se considerar a representação trifásica, levando-se também em conta os acoplamentos possíveis, de acordo com o fenômeno investigado.

Para a simulação de transitórios, o regime permanente da rede pré-defeito/pré-manobra tem a função de definir apenas as condições iniciais da simulação, e não tem a mesma importância de uma simulação de fenômenos apenas a 60 Hz.

Entretanto, qualquer regime permanente factível implica uma rede bem representada, com todas as relações de impedância importantes incluídas, e uma topologia adequada e realista.

Como não é factível — por limitações da ferramenta — a representação de todo o sistema interligado no programa de simulação, há necessidade de que se escolha uma sub-rede representativa, porém limitada, que não distorça o fenômeno em análise.

Tendo em vista que um dos efeitos transitórios mais significativos é ocasionado pelo surto injetado pela aplicação/remoção de defeito, caso a rede de sequência positiva e de sequência zero sejam adequadamente representadas, os valores de magnitude dos curtos-circuitos no programa de transitórios eletromagnéticos deverão ser próximos àqueles obtidos por meio do programa ANAFAS. Para tal, é necessário representar equivalentes de curto-circuito, a 60 Hz, na rede representada pelo programa de transitórios eletromagnéticos. Isto é feito pela inclusão de uma fonte ideal, com frequência 60 Hz, em série com uma impedância.

A grande questão é: caso as fontes ideais estejam eletricamente próximas do ponto avaliado, praticamente só as ondas de 60 Hz surgirão nas simulações, o que não é conceitualmente correto, ocasionando um resultado fictício, sem sustentação física.

Sempre que possível, é importante a representação dos parques geradores, não por equivalentes de curto-circuito a partir do ANAFAS, mas pela representação de seus transformadores elevadores e de suas máquinas; estas são representadas, a princípio, pelas fontes tipo 14 em série com a reatância subtransitória. A representação da máquina pelo modelo completo também é aceitável, embora não seja essencial para boa parte dos fenômenos em análise.

Outra questão importante diz respeito ao amortecimento da rede elétrica. Essa rede, quando reduzida aos itens mais elementares, é composta por uma associação de resistências, indutâncias e capacitâncias.

O amortecimento é uma realidade física e se manifesta nas representações das cargas e dos fatores de qualidade dos diversos equipamentos representados.

Muitas vezes, na tentativa de reproduzir fielmente as condições de regime permanente, representam-se inúmeros equivalentes de curto-circuito, mesmo quando não são significativos, e se ajustam os fluxos por meio do acerto dos ângulos das fontes. Nestes casos, não se representam as cargas.

As simulações advindas desse tipo de representação acarretam, geralmente, resultados equivocados e distantes da realidade física. Portanto, é necessário ter cuidado; a prática da boa engenharia se faz necessária.

Os equivalentes de rede a ser utilizados na representação do sistema devem ser indicados por suas impedâncias de curto-circuito de sequência zero e positiva, vistas a partir da(s) barra(s) de fronteira.

Como diretriz para a definição das barras de fronteira, é necessário escolher pontos da rede nos quais o circuito equivalente — representado pelas impedâncias de curto-circuito, próprias e de transferência — tenha influência mínima sobre o comportamento transitório do restante do sistema, o qual deve ser representado em detalhes por ser o foco do estudo. Os elementos não lineares, como transformadores e suas curvas de saturação, devem ser representados; caso contrário, podem-se suprimir as excitações que existem, de fato, fora da frequência fundamental.

Na localização das barras fronteiras para a colocação dos equivalentes, deve-se adotar a regra estabelecida no item 9.3.2.1 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, que estabelece: “Entre a(s) barra(s) focalizada(s) no estudo e as barras de fronteira devem existir, pelo menos, 2(duas) outras barras.”

Fenômenos de transitórios eletromagnéticos advêm da superposição de ondas trafegantes, em diversas frequências e nas três fases — que se refletem e se refratam, se superpõem ou se cancelam. Para o fenômeno poder de fato manifestar-se, é necessário um afastamento elétrico mínimo dos equivalentes de 60 Hz. Portanto, a regra é geral e necessária, por evitar maiores imprecisões.

A prática da boa engenharia não se restringe, entretanto, à aplicação de regras. É necessário levar em conta o fenômeno estudado. Por exemplo: um equivalente situado na extremidade de uma linha, distante 350 km do ponto de manobra (apenas uma barra), pode ser mais adequado do que outro equivalente, situado a duas barras de distância, na extremidade de duas linhas em série de 30 km cada. A localização mais adequada do equivalente deve levar em conta não somente a distância elétrica, mas também a topologia da rede estudada.

Os estudos de transitórios eletromagnéticos devem ser realizados considerando como referência a configuração do sistema correspondente ao ano de entrada em operação do empreendimento, devendo, também, levar-se em consideração as ampliações e os reforços já autorizados pela Aneel —



Os estudos de manobra necessitam de condições iniciais previamente ajustadas. Basicamente, são as seguintes: tensão pré-manobra adequadas, níveis de curto-circuito realistas e topologia de rede válida, com a inclusão dos elementos não lineares, tais como transformadores.

Inicialmente ajusta-se a condição inicial de tensão pré-manobra. Para tal procura-se, na medida do possível, reproduzir o perfil de tensões do caso base de fluxo de potência, que para o ano de entrada em operação reflete um caso do PAR com algumas adaptações.

Os fluxos entre barras refletirão o ajuste de tensões obtido e, caso a rede de sequência positiva esteja correta, refletirão de forma próxima os resultados de fluxo do ANAREDE.

ATP e ANAREDE são ferramentas diferentes com metodologias de cálculo, modelagens e recursos distintas; portanto, suas soluções poderão ser parecidas, mas não idênticas. Em especial os ângulos.

Ressalta-se, neste ponto, que para estudos de transitórios eletromagnéticos o fluxo não é objeto da análise, mas condição inicial. Claro que, em estudos específicos, como por exemplo os relativos à rejeição de carga, a magnitude se torna um insumo importante.

Como o projeto básico não é uma análise de ocorrência específica, não se espera nesta fase, e nem faz sentido, o mesmo grau de precisão na reprodução das condições pré-manobra.

Na falta de uma base de dados oficial/pública de transitórios eletromagnéticos — e respeitando-se a diferença de representações/modelagens —, a base de informações mais depurada de parâmetros de sequência zero ou positiva é a utilizada pelo programa ANAFAS.

Portanto, a validação da modelagem da rede no ATP, representada na frequência fundamental, deve ser complementada considerando-se os níveis de curto-circuito para as barras das manobras e outros pontos de relevância na comparação das correntes de curto-circuito trifásicos e monofásicos obtidas no ATP com os resultados do programa de curto-circuito (ANAFAS), a partir da base de dados correspondente à configuração da rede em estudo.

Na eventualidade de não serem iguais os parâmetros de sequência positiva, utilizados pelo ANAREDE e pelo ANAFAS, o processo de validação pré-simulação é mais trabalhoso, exigindo uma “análise de engenharia”.

Por fim, todo o projeto básico deve apresentar um diagrama unifilar da rede representada, identificando claramente o posicionamento dos equivalentes de curto-circuito, da geração representada, das cargas e das linhas incluídas no caso base.

Reitere-se que deve ser um diagrama unifilar e não um diagrama do programa ATPDRAW.

### 3.2.2.2. Dados dos Componentes da Rede

Devem-se apresentar, nos documentos de estudos de transitórios eletromagnéticos, todos os dados dos componentes utilizados na modelagem da rede no programa ATP, incluindo as considerações pertinentes à utilização de determinado tipo de modelagem em função da representação requerida no estudo.

A seguir, relacionam-se as principais informações necessárias à apresentação dos dados utilizados na modelagem da rede:

- Linhas de transmissão
  - Devem-se apresentar, em forma de tabelas, os dados de sequência zero e positiva, por classe de tensão, por Km, de todas as linhas representadas no estudo.
  - Os parâmetros das linhas de transmissão pertencentes ao Lote do Leilão de Transmissão objeto do estudo devem ser calculados com os dados de projeto básico da(s) linha(s) de transmissão, os quais também devem ser apresentados no conjunto de estudos do projeto do empreendimento.
  - No caso de linhas de transmissão em circuito duplo com circuitos na mesma torre ou não, assim como das que correm em paralelo acopladas a outras linhas de transmissão, deve-se fazer referência à geometria da(s) torre(s) considerada(s) no estudo e ao esquema de transposição, se existente, além de informar se a distância entre eixos e a extensão do percurso em paralelo, em se tratando de linhas de transmissão que compartilham a mesma rota. Deve ser apresentada, nos documentos referentes aos estudos de transitórios eletromagnéticos, a entrada dos dados correspondentes à rotina Line Constant do ATP, utilizada na obtenção dos parâmetros com os acoplamentos.
  - Caso exista compensação séria nas linhas de transmissão, os seus dados também devem ser informados.
- Transformadores
  - Devem-se apresentar, em tabelas, os dados de todos os transformadores representados ( $X_p$ ,  $X_s$  e  $X_t$ ), informando-se, também, quais foram representados com as respectivas curvas de saturação.
  - Os transformadores eletricamente próximos aos pontos de manobra deverão ser representados com suas curvas de saturação. Sugere-se que estas curvas sejam representadas com, no mínimo, 5 pontos. Quanto mais precisa a representação,

melhor para a simulação. Curvas de saturação mal condicionadas podem afetar as simulações, principalmente caso se trate de manobra do próprio elemento representado. Havendo necessidade da modelagem da histerese magnética do transformador, como no caso dos estudos das manobras desses equipamentos, devem ser apresentados o valor da tensão de joelho (pu), a reatância saturada – $X_{ac}$  (%) e os pontos da curva de saturação adotada.

- Reatores

- Devem-se apresentar em tabela todos os reatores, informando a potência em MVar e a tensão correspondente em kV, se manobrável ou fixo, e o valor do aterramento de neutro, quando considerado, em ohms.

- Banco de capacitores shunt

- Devem-se apresentar em tabela todos os bancos de capacitores representados, informando-se a potência em MVar e a tensão correspondente.

- Nos casos de estudos de manobra de bancos de capacitores, caso existam reatores limitadores em série com o banco, as suas características elétricas devem também ser explicitadas. Em caso de adoção de disjuntores com resistores de pré-inserção ou de chaveamento controlado, as suas características deverão ser informadas no item disjuntores.

- Compensação série

- Deve-se apresentar o valor da reatância capacitiva, em ohms, e o valor em Mvar correspondente para a tensão respectiva.

- Nos estudos de dimensionamento de bancos série, deverá ser apresentado também o seu esquema completo, incluindo capacitores, MOVs, by-pass etc.

- Compensador estático

- Deve-se apresentar o ponto de operação do ajuste de regime permanente utilizado para a simulação pré-manobra do caso base. A desconsideração do efeito do CER, para avaliações comuns do projeto básico, tais como energizações de linha, religamento tripolar e rejeição de carga, é na maioria das vezes uma hipótese conservadora.

- Para os estudos específicos referentes ao dimensionamento e aos ajustes do compensador estático, normalmente realizados pelo fabricante, deverão ser representados o transformador do CER e sua curva de saturação, a malha de

aquisição de dados da rede (V e I) e suas filtragens, a malha de controle PI do AVR, as estratégias de sub e sobretensão, a capacidade de sobrecarga indutiva, bem como o disparo dos RCTs e TSCs. Esses modelos de CER são de responsabilidade da Transmissora e devem ser aferidos pelo fornecedor do equipamento.

- Para-raios
  - Devem-se apresentar a tensão nominal, a capacidade de dissipação de energia (KJ/kV) e, em tabela, os pontos (V, x, I) utilizados na modelagem dos para-raios.
  - Para os estudos de manobra deve ser apresentada a característica da curva de descarga para 30 x 60  $\mu$ s. Para os estudos de coordenação de isolamento, deve ser apresentada a curva de 1,2 x 50  $\mu$ s. São duas curvas distintas, para situações distintas, e na simulação os pontos não devem ser misturados.
  - A especificação dos equipamentos deve levar em conta a característica do para-raios simulado. Caso sejam adquiridos para-raios com curvas muito distintas, os estudos serão invalidados.
- Equivalentes da rede
  - Devem-se apresentar em tabela os dados dos equivalentes próprios e as impedâncias de transferência (mutuas), de mesma tensão ou entre tensões diferentes, informando-se os parâmetros de sequência zero e positiva.
- Unidades geradoras
  - Modelagem simplificada (Fonte 14) – Devem-se apresentar as reatâncias subtransitórias e as potências das unidades geradoras em (MVA);
  - Modelagem de máquina completa (58/59 – ATP) – Não é o caso geral. Entretanto, em casos de estudos específicos, onde se deseja avaliar algum efeito sobre a própria máquina ou onde seja necessário, por algum motivo, estender a simulação por mais tempo ou ainda onde se deva levar em conta o efeito de reguladores de tensão e/ou velocidade, o modelo completo de máquina pode vir a ser necessário. Neste caso, devem-se apresentar as reatâncias e as constantes de tempo das máquinas consideradas na modelagem.
- Disjuntores
  - No caso de simulações estatísticas, deve-se informar o número de chaveamentos adotados, o desvio padrão com o truncamento das chaves correspondentes ao contato principal e o auxiliar do disjuntor (para manobra de resistores de pré-inserção), quando este último existir.

- Deve-se informar se nos disjuntores serão empregados resistores de pré-inserção ou dispositivos para manobra controlada (sincronizadores).
- No caso de disjuntores com resistor de pré-inserção, deve ser informado o valor do resistor em ohms e o tempo da inserção considerado.
- No caso de emprego de dispositivo sincronizador, deverão ser fornecidos os parâmetros do conjunto mecânico-eletrônico, tais como: desvio padrão da precisão do dispositivo eletrônico; dispersão máxima para o dispositivo mecânico; taxa de decaimento da rigidez dielétrica (RDDS). Para a modelagem dos dispositivos sincronizadores, recomenda-se a consulta ao documento da Cigré indicado na referência [5.5.].

O item 8.4 apresenta uma sugestão de itens que devem constar do relatório dos estudos de transitórios eletromagnéticos, dentre os quais estão contempladas as sugestões de tabelas de dados.

### 3.2.2.3. Parâmetros da Simulação

Como parâmetros da simulação, devem-se apresentar as seguintes informações:

- Tempo total da simulação (ms)
  - Nesse caso, para os estudos das manobras de linhas de transmissão e de transformadores, é suficiente um tempo total de simulação da ordem de 300 a 500ms, após a manobra em análise. Em caso de religamento, deve-se acrescentar o tempo morto para obtenção do tempo total de simulação. Para a manobra de energização de transformadores pode-se estender a simulação por cerca de 1 segundo, mas apenas para efeito de observação da tendência de amortecimento das formas de onda (correntes de Inrush).
  - Para os estudos das tensões transitórias de restabelecimento dos disjuntores é recomendável que o tempo total da simulação seja da ordem de um ciclo da frequência fundamental, após a abertura do disjuntor.
- Passo de integração (ms)
  - Deve ser verificado, para cada tipo de fenômeno estudado, se o passo de integração escolhido está adequado, em função da faixa de frequências envolvidas no fenômeno em análise e das características dos componentes modelados na base de dados do ATP.
  - O Guia de Aplicação do Programa ATP orienta acerca da definição do passo de integração a ser calculado, no sentido de garantir resultados precisos das simulações.

- Deve(m) ser informado(s) o(s) passo(s) de integração utilizado(s) para cada um dos estudos de transitórios eletromagnéticos apresentados.

### **3.2.3. Avaliação da Adequação da Compensação Shunt de Linhas de Transmissão**

Quando tratar-se de linha de transmissão compensada por reator shunt instalado em seus terminais, é recomendável investigar a possibilidade da ocorrência de ressonância na própria linha: entre circuitos, caso esta seja em circuito duplo, ou entre linhas que correm em paralelo dividindo a mesma faixa de passagem.

Tensões induzidas elevadas que surgem em função de uma condição de ressonância, ou condição operativa próxima a esta, resultam em dificuldades na extinção do arco secundário e no atraso do decaimento da carga residual da linha de transmissão, inviabilizando as manobras de religamento tripolar e monopolar, além de poder ocasionar o aumento da TRT aplicada aos disjuntores, durante a manobra de eliminação de falta.

Além disso, existe o risco de danificação dos equipamentos instalados na linha e de se comprometer a segurança da instalação.

Quando identificada a condição de ressonância, é necessário propor medidas para a sua mitigação. Nesses casos, a instalação de reatores ou resistores de neutro tem-se mostrado uma medida efetiva. Complementarmente, deve ser verificada a adequação do esquema de transposição da(s) linha(s), quando esta for empregada.

A solução pela alteração do grau de compensação shunt da linha somente poderá ser adotada mediante a comprovação de que o novo valor proposto para os reatores não resulta em restrições quanto ao desempenho do sistema, sob os aspectos da frequência fundamental e de transitórios eletromagnéticos.

Antes do desenvolvimento dos estudos de transitórios eletromagnéticos associados às manobras das linhas de transmissão, considera-se necessária a verificação da sua adequação quanto à compensação shunt proposta, investigando-se o risco da ocorrência de ressonâncias e levando-se em consideração a faixa de frequência operativa do sistema (56– 66Hz).

Além de influenciar no desempenho do religamento automático, a interação reator-linha influencia diretamente as manobras das chaves de aterramento da linha, em função dos acoplamentos eletrostáticos e eletromagnéticos entre linhas na mesma estrutura, ou linhas na mesma faixa de servidão. Tais situações podem impor a superação dos limites normalizados para as correntes e tensões induzidas para a manobra de abertura da chave de terra, colocando em risco a operação desses equipamentos e o pessoal de manutenção. Os valores de reatância dos reatores em paralelo e

dos reatores de neutro, caso existam, são parâmetros que permitem controlar o grau de severidade imposto às chaves de terra.

Recomenda-se a realização das seguintes avaliações:

- Verificação do grau de compensação da linha de transmissão e da possibilidade de ocorrer ressonância na frequência fundamental:
  - O grau de compensação de uma linha de transmissão é dado pela relação do montante total da compensação shunt (MVar), soma das potências dos reatores instalados em seus terminais e pela capacitância de sequência positiva (MVar) total da linha.
  - De acordo com a referência [5.4], a condição de ressonância caracteriza-se quando  $1/(\omega.L) = \omega.(C1 + C0)/3$ , onde: L= indutância dos reatores da linha, C1= capacitância sequência positiva, e C0= capacitância sequência zero da linha; sendo  $k = C0/C1$  e  $h = 1/(\omega^2.L.C1)$ . Deduz-se que a ressonância na frequência fundamental ocorre quando o grau de compensação da linha for dado por  $h=(2+k)/3$ . A título de exemplo, considerando uma linha com a relação (C0/C1),  $k=0,40$ , a ressonância ocorre somente quando o seu grau de compensação for da ordem de 80%.
  - Essa metodologia pode ser considerada simplificada por utilizar somente os parâmetros transversais com os acoplamentos entre as fases e a fase-terra de um circuito de linha de transmissão, sendo indicada para uma primeira avaliação da linha.
- Verificação da existência de ressonância por indução entre circuitos ou entre linhas paralelas, sob condição de abertura tripolar ou monopolar:
  - Nesse caso, é recomendada uma análise mais rigorosa, feita pela simulação digital, usando, por exemplo, o programa ATP e considerando-se a modelagem completa da linha com todos os acoplamentos eletrostáticos e eletromagnéticos representados.

Adicionalmente, deve-se considerar na modelagem, caso existente, o detalhamento do esquema das transposições da(s) linha(s) envolvidas.

Para a modelagem completa, deve(m)-se representar a(s) linhas(s) envolvidas, considerando-se a matriz de transformação modal a ser obtida com o processamento da rotina LineConstant do programa ATP, a partir da informação dos dados de projeto básico da(s) linha(s) (geometria torre, características do cabo fase, cabos para-raios e flechas).

A representação dos esquemas de transposição dos circuitos deve ser modelada de acordo com a proposta de transposição do projeto básico da(s) correspondente(s) linha(s) de transmissão.

A recomendação, conforme os padrões dos Procedimentos de Rede do ONS, é de serem transpostas com um ciclo completo e, preferencialmente, com trechos de  $1/6, 1/3, 1/3$  e  $1/6$  do comprimento total. Em circuitos em paralelo, na mesma faixa de passagem os pontos de transposição do 1º circuito existentes serão levados em consideração, na definição da transposição do novo circuito.

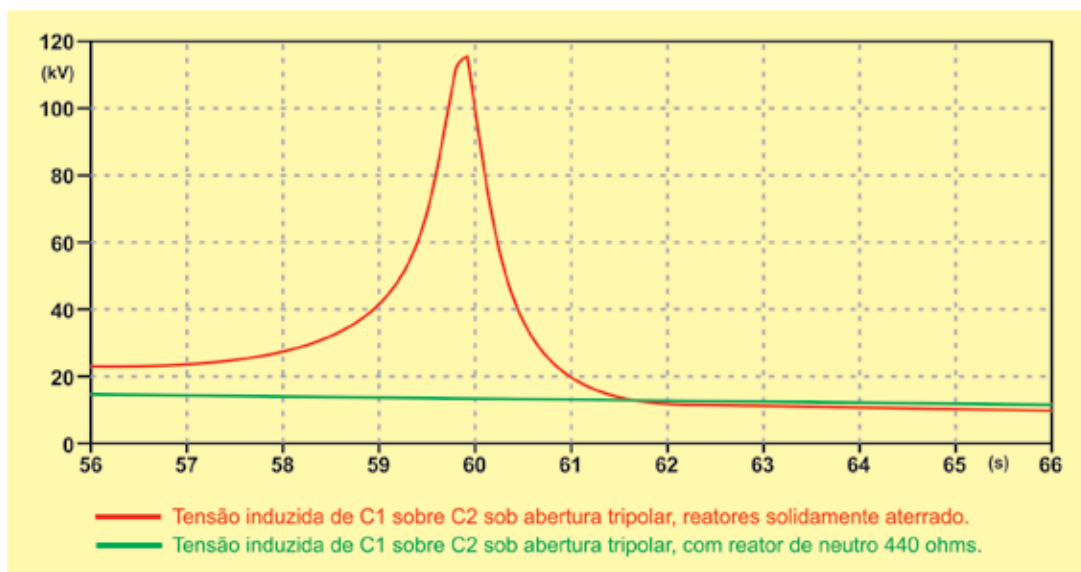
No item 8.3, é apresentado um exemplo da obtenção da matriz com os parâmetros modais de uma linha de transmissão em circuito duplo, pelo processamento da rotina Line Constant do ATP. No mesmo anexo, é também mostrada a implementação da modelagem na base de dados do ATP, a partir da matriz com os parâmetros modais, incluindo o detalhamento da transposição, conforme o projeto básico da linha.

A partir da modelagem completa da(s) linha(s), deve-se efetuar a investigação da existência de ressonâncias entre circuitos ou entre linhas que correm em paralelo, considerando-se as compensações shunts, conforme propostas no anexo técnico do edital.

As avaliações serão efetuadas pela obtenção — a partir de simulações com o programa ATP — da resposta em frequência vista dos terminais da linha associados à(s) fase(s) ou circuitos investigados, abrangendo as condições de abertura tripolar e monopolar. Deve-se avaliar a faixa da frequência operativa do sistema (56-66Hz), verificando-se se todos os reatores terminais da linha estão conectados, devendo-se representar adequadamente o aterramento utilizado nesses reatores.

A Figura 3.3 ilustra uma condição de ressonância observada para linha de transmissão em circuito duplo com grau de compensação de 56%, cujas características estão apresentadas no exemplo de modelagem da linha no ATP do item 0 – Anexo C. Foi identificada ressonância no entorno da frequência fundamental, por ocasião da abertura tripolar de um dos circuitos da linha. A curva na cor vermelha refere-se à tensão induzida por acoplamento eletrostático e eletromagnético de C1 sobre C2, sob a condição de abertura tripolar de C2. A curva na cor verde mostra a mitigação do problema através da instalação de reator de neutro.

**Figura 3.3. Exemplo de Condição de Ressonância – Abertura Tripolar – Linha de Transmissão em Circuito Duplo.**



### 3.2.4. Estudo de Energização de Linhas de Transmissão

O estudo de energização de linha de transmissão, em complementação aos estudos de religamento tripolar e rejeição de carga, deve ser desenvolvido dentro das atividades do projeto básico da instalação, com os seguintes objetivos principais:

- Avaliar as máximas sobretensões transitórias a ser impostas aos barramentos das subestações e aos terminais das linhas de transmissão;
- Avaliar as energias dissipadas nos para-raios de linha, tendo em vista o dimensionamento desses equipamentos sob o ponto de vista da capacidade de absorção de energia (kJ/kV);
- Verificar a adequação da coordenação de isolamento das estruturas das linhas de transmissão frente a surtos de manobras, efetuando-se a integração com os estudos do seu projeto básico.

#### 3.2.4.1. Diretrizes para os Estudos de Energização

Nos estudos, deve ser considerada a possibilidade de energização por ambos os sentidos da linha de transmissão, com o sistema íntegro e degradado, sob a indisponibilidade de um componente da rede (n-1), tendo em vista as manobras de recomposição no sistema. Se houver reatores na linha, devem ser consideradas as indisponibilidades somente dos manobráveis.

É necessário que as avaliações sejam efetuadas com e sem a aplicação de defeitos ao longo da linha. Esses defeitos devem ser aplicados, pelo menos, no terminal energizado, no meio da linha e na extremidade oposta da linha. Mais pontos para a aplicação do defeito, em particular para as linhas mais longas, resultam em avaliações mais precisas.

Os tempos de eliminação dos defeitos devem corresponder aos relacionados na Tabela 3 do item 8.2.12 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, em função da tensão nominal da rede.

No caso do estudo de energização de linhas de transmissão com compensação série, deve-se realizar o by-pass do capacitor série, após a aplicação do defeito, considerando-se as informações do projeto básico do equipamento; caso ainda não disponíveis, é preciso considerar os tempos para o by-pass, conforme recomendado no item 9.2.1.10 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

#### 3.2.4.2. Premissas para Ajuste dos Casos ATP

As sobretensões causadas por energização de linhas de transmissão são geralmente mais severas sob condição da rede mais fraca: com menor nível de curto-circuito, a montante da manobra, como é o caso das configurações com menor número de unidades geradoras despachadas, verificado na maioria das vezes sem condição de carga leve, ou em condição de recomposição de rede.

Para este tipo de manobra, o ajuste de caso tem por objetivo certificar-se de que as relações de impedância (de sequência positiva e zero) estão adequadas. Ou seja, se a topologia de fato corresponde à realidade. Em resumo, para a manobra de energização de linhas, são importantes a tensão pré-manobra na barra emissora, a topologia da rede e o nível de curto-circuito trifásico e monofásico, nas barras em análise.

Neste sentido, o caso base de ATP será ajustado de maneira a reproduzir o caso base de fluxo de potência do PAR-ONS, o qual deve ser escolhido de maneira a contemplar a condição mais crítica para a manobra.

A tensão de pré-manobra deve ser ajustada igual à máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, de acordo com a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

#### 3.2.4.3. Desenvolvimento das Simulações e Análises

Em função da aleatoriedade dos instantes de fechamento dos polos do disjuntor, o estudo das manobras de energização deve ser realizado de maneira estatística, considerando-se pelo menos uma amostragem de duzentos chaveamentos.

Para o controle das sobretensões, pode ser adotado, quando necessário, resistor de pré-inserção, devendo-se informar o seu valor (em ohms) com o seu tempo de inserção (ms). Caso o estudo conclua pela sua necessidade, devem-se determinar os parâmetros de sua especificação (tempo de inserção, corrente de curta/longa duração e potência).

Para a modelagem do disjuntor no programa ATP, aplicam-se as recomendações do item 9.2.1 dos

Procedimentos de Rede do ONS, destacando-se os seguintes aspectos:

- O disjuntor deve ser representado pela chave estatística, com os tempos de fechamento caracterizados por distribuição gaussiana, com o tempo de fechamento uniformemente distribuído ao longo de um ciclo da senoide, sendo recomendados, pelo menos,  $(\pm 2)$  desvios padrões em correspondência com a máxima dispersão entre polos das três fases do disjuntor;
- Na modelagem de disjuntores dotados de resistores de pré-inserção, tanto os contatos principais quanto os auxiliares devem ser modelados como chaves estatísticas; a operação dos contatos principais precisa ocorrer de maneira dependente daquela associada aos contatos auxiliares, após o tempo de inserção dos resistores das três fases, levando-se em conta sua dispersão e tempo médio.

No desenvolvimento do estudo, as análises serão focadas nos aspectos relevantes para o projeto básico da instalação, destacando-se: o valor das sobretensões a que ficam submetidos os equipamentos localizados nas subestações e nos terminais das linhas de transmissão; os para-raios de linha, que devem ser dimensionados para dissipar, sozinhos, a energia resultante da manobra de energização; e a verificação da coordenação de isolamento da linha de transmissão frente às sobretensões fase-fase e fase-terra, advindas da manobra da linha.

Com o intuito de determinar a sobretensão a ser usada como referência, na coordenação de isolamento da linha de transmissão para surto de manobras devem considerar-se aquelas resultantes da energização sob condição sem defeito, visto que, sob falta, ocorre o desligamento da linha pela atuação da proteção. Já para o dimensionamento da capacidade de dissipação de energia dos para-raios, considere-se a condição da manobra sob falta.

A energização deve ser viabilizada mesmo para a máxima tensão pré-manobra.

#### 3.2.4.4. Apresentação dos Resultados

A apresentação dos resultados estatísticos das simulações no documento do estudo deve ser em tabelas, contendo: a identificação do caso estudado; a configuração do sistema; o local do defeito, quando aplicado; o valor da tensão de pré-manobra (pu); os valores médios (pu); os desvios padrões (pu), os valores máximos (pu); e a energia dissipada nos para-raios (kJ), para todos os pontos de interesse investigados.

Devem também ser efetuadas simulações determinísticas, apresentando-se os gráficos das formas de onda das sobretensões e das energias dissipadas nos para-raios, correspondentes às condições mais críticas encontradas.

Na apresentação dos gráficos com as formas de onda das sobretensões e energia dissipada nos para-

raios, deve haver coerência na escala dos tempos que caracterizam os fenômenos de transitórios eletromagnéticos, conforme diretriz estabelecida no item 3.2.2.3 do presente documento.

O item 8.4 apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de transitórios eletromagnéticos de energização, religamento tripolar e rejeição de carga.

### **3.2.5. Estudo de Religamento Tripolar de Linhas de Transmissão**

O estudo de religamento tripolar de linhas de transmissão, em complementação aos estudos de energização de linhas de transmissão e rejeição de carga, deve ser desenvolvido dentro das atividades para o projeto básico da instalação, com os seguintes objetivos principais:

- Avaliar as máximas sobretensões transitórias que serão impostas aos barramentos das subestações e aos equipamentos terminais das linhas de transmissão;
- Avaliar as energias dissipadas nos para-raios, tendo em vista o seu dimensionamento sob o ponto de vista da capacidade de absorção de energia;
- Verificar a adequação da coordenação de isolamento das estruturas das linhas de transmissão frente a surtos de manobras, efetuando-se a integração com os estudos de seu projeto básico.

As manobras de religamento tripolar, de maneira geral, sempre resultam nos piores valores das sobretensões, em complemento às obtidas no estudo da manobra de energização da linha de transmissão.

#### **3.2.5.1. Diretrizes para os Estudos de Religamento Tripolar**

Deve-se avaliar o religamento tripolar, considerando:

- Manobras com e sem sucesso, a partir dos dois terminais da linha de transmissão, considerando sempre conectados os reatores fixos da linha, caso existentes, e com reator (ou resistor) de neutro, quando este for recomendado; as indisponibilidades dos reatores devem ser consideradas somente quando forem manobráveis por meio de energização;
- Linhas em circuito simples, que não compartilhem a mesma faixa com outras linhas de transmissão, poderão ser modeladas com parâmetros distribuídos, valendo-se da representação de Bergeron, com parâmetros desacoplados. Entretanto, quando existirem linhas de transmissão em circuito duplo, com circuitos na mesma torre, a modelagem deve considerar, todos os acoplamentos eletrostáticos e eletromagnéticos presentes entre fases e entre circuitos. Também deve ser representado o esquema de transposição, quando este for empregado. Nesse caso, deve(m)-se representar a(s) linha(s) de transmissão na base de dados do ATP, através da sua matriz de transformação modal, obtida com o

processamento da rotina Line Constant do programa ATP, levando-se em consideração os dados de projeto da linha (geometria torre típica, características do cabo fase, cabos para-raios e flechas). No item 0 – Anexo C do presente documento é apresentado um caso, como exemplo desse tipo de modelagem requerida. Nos casos em que houver linhas de transmissão, com comprimentos apreciáveis, que corram em paralelo com outras linhas, por longos trechos, na mesma faixa de passagem ou em situações onde a distância entre eixos dessas linhas seja pequena, o tipo de modelagem acima poderá, em alguns casos, vir a ser necessário. Ressalta-se também que pode ocorrer, numa linha em paralelo, que não pertença ao empreendimento, indução de tensão que traga consequências para sua operação.

Deve ser considerada a seguinte sequência de eventos:

- Defeito monofásico aplicado em um dos terminais ou no meio da linha de transmissão;
- Abertura tripolar do terminal mais próximo ao defeito com o tempo após a sua incidência, definido de acordo com a Tabela 3 do item 8.2.12 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, em função da tensão nominal da rede;
- Abertura da outra extremidade da linha com um tempo correspondente ao da transferência de disparo da proteção de 20ms, após abertura do 1º terminal;
- Extinção do defeito, após a abertura do segundo terminal (tempo de extinção típico da ordem de quatro ciclos);
- Contagem do tempo morto para o religamento de 500ms;
- Simulação do religamento estatístico, com amostragem de duzentos chaveamentos por manobra estudada.

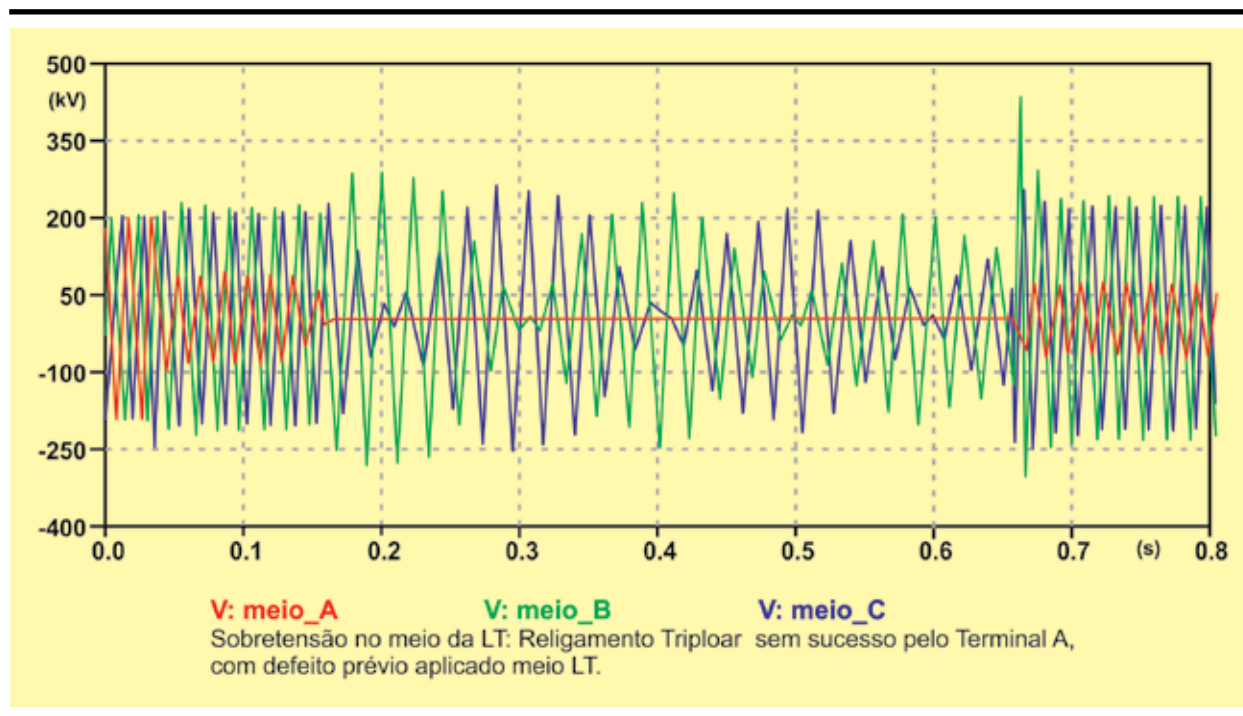
No caso do estudo do religamento tripolar para linhas de transmissão com compensação série, é necessário realizar o by-pass do capacitor série após a aplicação do defeito, considerando-se as informações do projeto básico do equipamento; caso ainda não estejam disponíveis, devem-se considerar os tempos para o by-pass, conforme recomendado no item 9.2.1.10 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Na avaliação de religamento tripolar, para a etapa de projeto básico, deve-se manobrar com a compensação série já reinserida, antes do religamento da linha de transmissão.

Aplicam-se as diretrizes do item 3.2.2.3 do presente documento, relativo aos parâmetros da simulação, devendo-se, no caso do religamento tripolar, ajustar o tempo total da simulação e apresentação dos resultados com margem suficiente para abranger todas as temporizações envolvidas na manobra, geralmente da ordem de 800ms.

A Figura 3.4, a seguir, apresenta como exemplo das temporizações envolvidas nesse tipo de manobra o oscilograma da sobretensão no meio de uma linha de transmissão de 230kV, também com defeito monofásico aplicado, no meio da linha, ao religamento tripolar sem sucesso, a partir de um dos terminais.

**Figura 3.4. Religamento Tripolar – Temporizações Envolvidas na Manobra.**



A localização dos pontos de aplicação dos defeitos pode ser orientada a partir dos casos que apresentaram as piores sobretensões no estudo de energização da linha de transmissão.

### 3.2.5.2. Premissas para Ajuste dos Casos ATP

O caso base do ATP a ser utilizado nas simulações do religamento tripolar deve ser o mesmo adotado nos estudos das manobras de energização, considerando-se os aspectos dos ajustes do fluxo de potência e das tensões de pré-manobra, conforme diretrizes estabelecidas no item 3.2.4.2 do presente documento.

### 3.2.5.3. Desenvolvimento das Simulações e Análises

Em função da aleatoriedade dos instantes de fechamento dos polos do disjuntor, o estudo do religamento tripolar será realizado de maneira estatística, considerando-se, pelo menos, uma amostragem de duzentos chaveamentos.

Para o controle das sobretensões, deve ser adotado, quando necessário, resistor de pré-inserção, devendo ser informado o seu valor (em ohms) com o tempo da inserção (ms).

Para a modelagem do disjuntor no programa ATP, aplicam-se as recomendações do item 9.2.1 dos Procedimentos de Rede do ONS, destacando-se os seguintes aspectos:

- O disjuntor deve ser representado através de chave estatística, com os tempos de fechamento caracterizados por distribuição gaussiana, com média uniformemente distribuída ao longo de um ciclo da senoide, sendo recomendados, pelo menos,  $(\pm 2)$  desvios padrões em correspondência com a máxima dispersão entre polos das três fases do disjuntor;
- A modelagem de disjuntores dotados de resistores de pré-inserção, tanto para os contatos principais quanto para os auxiliares, deve ser feita por chaves estatísticas; a operação dos contatos principais deve ocorrer de maneira dependente daquela associada aos contatos auxiliares, após o tempo de inserção dos resistores das três fases, levando-se em conta sua dispersão e tempo médio.

No desenvolvimento do estudo, as análises devem focar-se nos aspectos relevantes para o projeto básico da instalação, destacando-se: o valor das sobretensões a que ficam submetidos os equipamentos localizados nas subestações e nos terminais das linhas de transmissão; os para-raios de linha, que devem ser dimensionados para dissipar, sozinhos, a energia resultante da manobra de energização/religamento; e a verificação da coordenação de isolamento da linha de transmissão frente às sobretensões fase-fase e fase-terra, advindas da manobra da linha.

Para efeito da determinação da sobretensão a ser usada como referência — tanto para a coordenação de isolamento da linha de transmissão, como para o surto de manobras —, devem ser consideradas as que são resultantes do religamento tripolar sob condição sem defeito, visto que, sob falta, haverá o desligamento da linha pela atuação da proteção. Já para o dimensionamento da capacidade de dissipação de energia nos para-raios, deve ser considerada a condição da manobra sob falta.

#### 3.2.5.4. Apresentação dos Resultados

A apresentação dos resultados estatísticos das simulações no documento do estudo deve ser feita em tabelas e conter: a identificação do caso estudado; a configuração do sistema; o local do defeito, quando aplicado; o valor da tensão de pré-manobra (pu); os valores médios (pu); os desvios padrões (pu); os valores máximos (pu); e a energia dissipada nos para-raios (KJ), para todos os pontos de interesse investigados.

Devem também ser efetuadas simulações determinísticas, a ser apresentadas em gráficos com as formas de onda das sobretensões e das energias dissipadas nos para-raios, correspondentes às condições mais críticas encontradas.

Na apresentação dos gráficos com as formas de onda das sobretensões e energia dissipada nos para-raios, é preciso haver coerência na escala dos tempos que caracterizam os fenômenos de transitórios

eletromagnéticos, conforme diretriz estabelecida no item 3.2.2.3 do presente documento.

O item 8.4 apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de transitórios eletromagnéticos de energização, religamento tripolar e rejeição de carga.

### **3.2.6. Rejeição de Carga**

Em complementação aos estudos de energização de linhas de transmissão e de religamento tripolar de linhas de transmissão, o estudo de rejeição de carga tem por objetivo avaliar as máximas sobretensões transitórias que serão impostas aos barramentos das subestações e aos equipamentos terminais das linhas de transmissão, como também as energias dissipadas nos para-raios, tendo em vista o seu dimensionamento sob o ponto de vista da capacidade de absorção de energia.

#### **3.2.6.1. Diretrizes para os Estudos de Rejeição de Carga**

Deve-se estudar a rejeição de carga, considerando:

- Manobras sem a aplicação de defeito prévio;
- Manobras com a aplicação de defeito monofásico prévio;
- Manobras com aplicação de defeito posterior à rejeição e no instante correspondente ao valor máximo (pico) da sobretensão após a abertura;
- Tempos de eliminação dos defeitos, os quais devem corresponder aos relacionados na Tabela 3 do item 8.2.12 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, em função da tensão nominal da rede. Para o tempo de abertura do terminal remoto, deve-se considerar mais 20ms, para a análise sob a aplicação de defeito prévio.
- Realização da manobra por ambos os sentidos da linha e com o fluxo de potência passante o mais próximo possível da capacidade de carregamento de longa duração da linha de transmissão em análise;
- Indisponibilidades somente dos reatores manobráveis, quando existirem reatores na linha;
- Em caso de linha de transmissão em circuito duplo, a condição e rejeição dupla, que também deve ser estudada.

#### **3.2.6.2. Premissas para Ajuste dos Casos ATP**

Os impactos causados pela rejeição de carga são mais severos sob a condição de maior carregamento da linha de transmissão sob análise.

Neste sentido, deve-se ajustar o fluxo de potência no caso ATP, de maneira a impor na linha de transmissão, objeto do estudo, a condição de carregamento com valor o mais próximo possível do

limite de carregamento de longa duração da linha. É necessário escolher, como ponto de partida para o ajuste, o caso base de fluxo de potência do PAR-ONS mais adequado possível.

A tensão de pré-manobra deve ser ajustada igual à máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, de acordo com a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

### 3.2.6.3. Desenvolvimento das Simulações e Análises

As simulações devem ser realizadas de maneira determinística, merecendo atenção especial a escolha do passo de integração e o tempo máximo da simulação, conforme diretrizes estabelecidas no item 3.2.2.3 do presente documento.

O desenvolvimento do estudo deve priorizar os aspectos relevantes para o projeto básico da instalação, destacando-se, no caso da rejeição de carga, o valor das sobretensões transitórias a que ficam submetidos os equipamentos localizados nas subestações e nos terminais das linhas de transmissão e os para-raios de linha. Estes devem ser dimensionados para dissipar, sozinhos, a energia resultante da manobra de energização.

### 3.2.6.4. Apresentação dos Resultados

A apresentação dos resultados das simulações determinísticas no documento do estudo deve ser feita em tabelas e conter: a identificação do caso estudado; o terminal da realização da rejeição; o tipo de rejeição; a configuração do sistema; o fluxo na linha; a indicação de com ou sem defeito; a tensão pré-manobra; as sobretensões máximas; a energia dissipada nos para-raios; e a identificação dos gráficos correspondentes à plotagem com as formas de onda das tensões e energias dissipadas nos para-raios.

Na apresentação dos gráficos com as formas de onda das sobretensões e a energia dissipada nos para-raios, deve haver coerência na escala dos tempos que caracterizam os fenômenos de transitórios eletromagnéticos, conforme diretriz estabelecida no item 3.2.2.3 do presente documento.

O item 8.4 apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de transitórios eletromagnéticos de energização, religamento tripolar e rejeição de carga.

### 3.2.7. Estudo de Religamento Monopolar de Linhas de Transmissão

O estudo com enfoque de projeto básico da instalação objetiva a implantação do religamento monopolar e prioriza as soluções técnicas para a sua viabilização, de maneira a não comprometer o desempenho do sistema.

O documento a ser apresentado deve abranger os seguintes aspectos:

- Estudo das sobretensões transitórias de manobra para o religamento monopolar;
- Estudo da extinção do arco secundário.

### 3.2.7.1. Diretrizes para o Estudo das Sobretensões da Manobra

À modelagem da linha de transmissão e ao ajuste do fluxo de potência no caso ATP para as simulações, aplicam-se as mesmas considerações estabelecidas no item 3.2.5.1 do estudo do religamento tripolar, relativas ao sentido das manobras, devendo ser também com e sem sucesso.

Deve ser considerada a seguinte sequência de eventos para o estudo de manobra do religamento monopolar:

- Defeito monofásico aplicado em um dos terminais ou no meio da linha de transmissão;
- Abertura monopolar do terminal mais próximo ao defeito, com o tempo após a sua incidência definido de acordo com a Tabela 3 do item 8.2.12 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, em função da tensão nominal da rede;
- Abertura monopolar da outra extremidade da linha com um tempo correspondente ao da transferência de disparo da proteção de 20ms, após a abertura do primeiro terminal;
- Extinção do defeito, após a abertura do segundo terminal (como sugestão, pode ser adotado tempo de extinção típico da ordem de quatro ciclos);
- Contagem do tempo morto para o religamento de 500ms;
- Simulação do religamento estatístico, com amostragem de duzentos chaveamentos, por manobra estudada.

Especial cuidado deve ser tomado nos casos de circuitos duplos, que possuam compensação shunt.

Citamos o seguinte exemplo, extraído de um fato ocorrido durante a operação da rede básica:

- O circuito 1 de um circuito duplo, pré-existente, com reatores de linha que não possuíam reatores de neutro, operava aberto sem que as lâminas de terra dos seccionadores de linha estivessem acionadas;
- O circuito 2 deste circuito duplo operava normalmente, quando ocorreu falta monofásica;
- O circuito 2 foi religado monopolarmente, com sucesso;
- Neste instante, ocorreu sobretensão muito elevada no circuito 1, em aberto, em função de operação próxima à ressonância neste circuito. A proteção ordenou a abertura dos disjuntores de linha do circuito 1, por sobretensão, mas os disjuntores já estavam abertos.
- Tal fato ocasionou uma sobrecorrente elevada nos reatores linha, o que poderia tê-los danificado.

Eventos desta natureza são identificados somente por meio da simulação no tempo e pela interpretação das formas de onda. Num religamento monopolar, a extinção do arco é apenas parte do problema. A resposta a faltas assimétricas da rede em questão, em todos os casos de religamento com sucesso, deve ser examinada.

Ressaltamos que, neste caso, a simulação com representação desacoplada das linhas seria inútil para a identificação do problema.

Seccionamentos de linhas existentes, algumas vezes, também levam a operação em condições desfavoráveis, no que se refere ao percentual de compensação reativa shunt dos novos trechos de linha, os quais passam a operar mais próximos da ressonância que no projeto original da linha. Em várias destas situações, os reatores de linha não foram dimensionados com reatores de neutro; portanto, seus neutros não foram dimensionados para suportar tensões elevadas, porque muitas vezes o nível de compensação era originalmente baixo. O religamento monopolar, com as condições de projeto original, funcionava a contento.

Entretanto, a nova condição operativa deve ser avaliada com cuidado. Principalmente se houver circuitos paralelos na mesma faixa de passagem. O problema do acoplamento entre circuitos pode tornar-se ainda mais sério, com o crescimento do nível de tensão de transmissão.

No caso do estudo do religamento monopolar para linhas de transmissão com compensação série, deve-se realizar o by-pass do capacitor série, após a aplicação do defeito, considerando as informações do projeto básico do equipamento; caso ainda não estejam disponíveis, considerar os tempos para o by-pass conforme recomendado no item 9.2.1.10 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

A compensação série deve ser reinserida antes do religamento da linha de transmissão.

Aplicam-se as mesmas diretrizes estabelecidas dos itens 3.2.5.2, 3.2.5.3 e 3.2.5.4 do presente documento, relativas ao religamento tripolar, no tocante aos ajustes do caso ATP, desenvolvimento das análises e apresentação dos resultados.

### 3.2.7.2. Diretrizes para o Estudo da Extinção do Arco Secundário

O arco secundário é aquele mantido para a terra, no ponto de defeito, pelo acoplamento eletrostático e eletromagnético entre as fases sãs e a fase aberta da linha de transmissão.

O sucesso do religamento monopolar dependerá da extinção do arco secundário em função do tempo.

A extinção do arco, por sua vez, depende de diversos fatores, inclusive os atmosféricos, destacando-se os seguintes:

- Amplitude da corrente do arco secundário;
- Amplitude e taxa de crescimento da tensão de restabelecimento do arco secundário;
- Tensão sustentada (regime) na fase aberta;
- Componentes harmônicos da corrente de arco secundário;
- Outros fatores, como velocidade do vento, umidade e temperatura.

Nas variáveis associadas à extinção do arco secundário, exercem influência direta o acoplamento entre as fases sãs e as abertas, assim como a existência de outros acoplamentos em paralelo com o circuito em análise, juntamente com a condição de transposição da linha de transmissão.

O critério atualmente em vigor para aplicação nas instalações da Rede Básica do SIN, conforme o item 10.10 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, estabelece que — para o sucesso da extinção do arco secundário — o seguinte par de valores ( $V_p, I_a$ ) deve ser considerado:

- Valor eficaz do último pico da corrente do arco secundário ( $I_a$ ); e
- Valor do primeiro pico da tensão de restabelecimento transitória ( $V_p$ ), estabelecida através do canal do arco extinto.

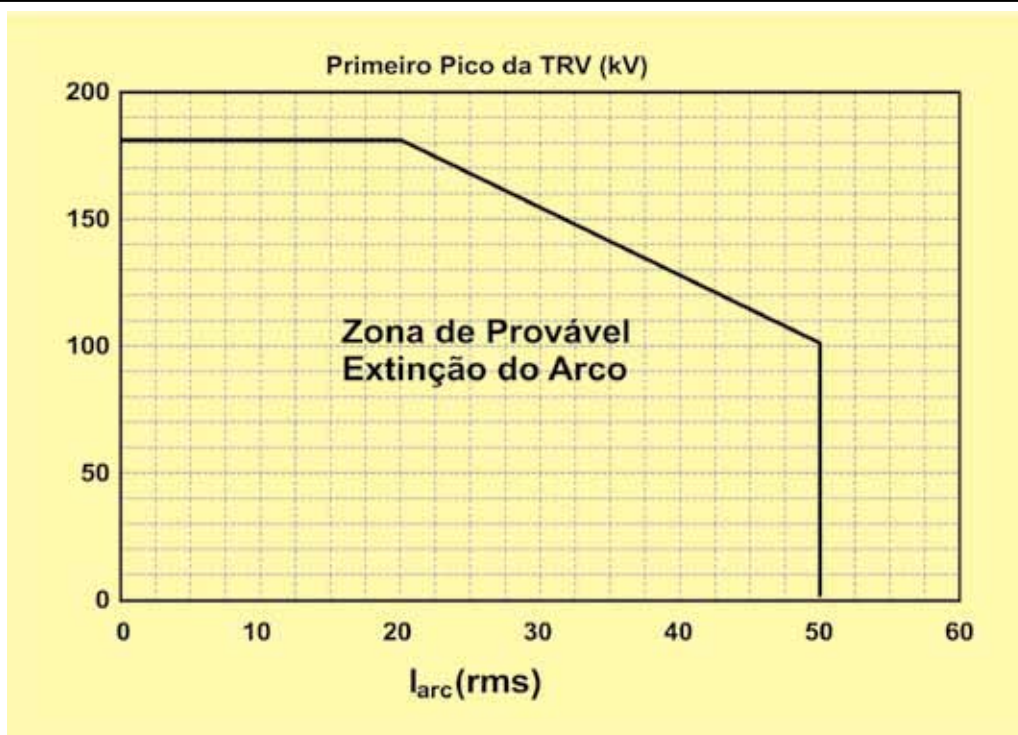
O par de valores ( $V_p, I_a$ ) deve ser obtido por meio de simulações com o programa ATP, considerando a sequência do religamento monopolar inicialmente sob condição de regime permanente e, em seguida, de transitório da extinção do arco.

Para o sucesso do religamento monopolar, o par de valores ( $V_p, I_a$ ) deve estar localizado dentro da zona de alta probabilidade de curvas indicativas para a extinção do arco secundário.

Deve ser priorizada a implantação do religamento monopolar em soluções técnicas, garantindo-se a extinção do arco secundário em tempos inferiores a 500ms. Nesse caso, aplica-se a curva indicativa para análise da corrente de arco secundário da Figura 3.5.

Figura 3.5. Curva Indicativa para Análise da Corrente de Arco Secundário para Tempo Morto até 500ms.

Fonte: Procedimentos de Rede do ONS, Submódulo 23.3, Item 10.10.1.2, Figura 2.

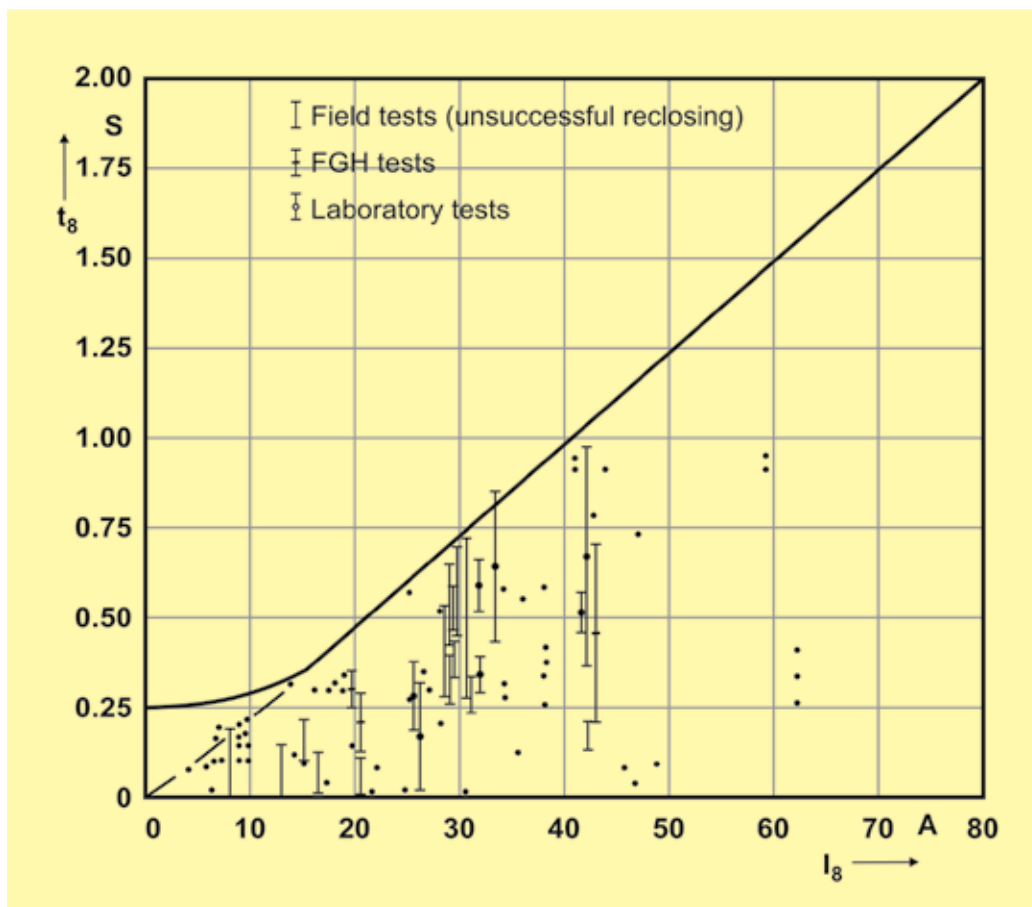


Somente quando for demonstrada, pela apresentação de resultados, a inviabilidade do atendimento ao requisito com tempos inferiores a 500ms, é que se deve optar pela utilização do critério para tempos de extinção superiores a 500ms. Neste caso, aplica-se a curva indicativa para análise da corrente de arco secundário da Figura 3.6, a seguir.

Embora o ensaio que deu origem a esta curva seja antigo e incompleto, ressalte-se que, na indisponibilidade de informações mais recentes, o setor continua a utilizá-la. Existem projetos de P&D em desenvolvimento sobre o assunto. Esta curva será rediscutida quando novas informações estiverem disponíveis.

Figura 3.6. Curva Indicativa para Análise da Corrente de Arco Secundário para Tempo Morto Superior a 500ms.

Fonte Procedimentos de Rede do ONS, Submódulo 23.3, Item 10.10.2.2, Figura 3.



Antes de optar pela adoção de tempos de extinção superiores a 500ms, deve ser avaliada a possibilidade da utilização de métodos de mitigação convencionais, como a adoção de reator de neutro.

No caso de tempos superiores a 500ms, deve ser demonstrado pela realização de estudo dinâmico que a adoção de tempo morto superior a 500ms não compromete o desempenho dinâmico do sistema.

Mesmo para tempos superiores a 500ms, deve-se priorizar a adoção de métodos de mitigação convencionais, e somente quando estes não se mostrarem suficientes outros meios devem ser considerados. Como método não convencional, pode-se mencionar a adoção de chaves de aterramento rápido, entre outras.

É necessário procurar o menor tempo morto possível, sem exceder 1,75 segundos.

Outro aspecto a ser levado em conta está relacionado ao esquema de transposição dos circuitos da linha de transmissão, como é o caso de linha em circuito duplo, devendo a transposição de um circuito em relação ao outro estar devidamente adequada, no sentido de não acarretar condições

desfavoráveis de acoplamento mútuo que inviabilizem o sucesso do religamento monopolar.

Vale destacar, uma vez mais, que a importância da modelagem da linha de transmissão deve ser feita de maneira adequada na base de dados do ATP, para o estudo da extinção do arco secundário no religamento monopolar. Este deve representar todos os acoplamentos eletrostáticos e eletromagnéticos presentes entre fases, entre circuitos e, quando existir, com outras linhas próximas que dividem a mesma faixa de passagem. Também será representado o esquema de transposição quando o mesmo for adotado nas linhas envolvidas.

Em casos como este, é recomendável representar com parâmetros modais a linha de transmissão na base de dados do ATP pela matriz. Esses parâmetros são obtidos por meio do processamento da rotina Line Constant do programa ATP, levando-se em consideração os dados de projeto das linhas (geometria torre típica, características do cabo fase, cabos para-raios e flechas). No item 8.3 é apresentado um caso como exemplo desse tipo de modelagem requerida.

### 3.2.7.3. Desenvolvimento das Simulações para a Obtenção do Par de Valores ( $V_p, I_a$ ) e da Tensão Induzida na Fase Aberta

As simulações pelo programa ATP para a determinação do par de valores ( $V_p, I_a$ ) e da tensão induzida na fase aberta devem ser conduzidas em duas etapas, levando-se em consideração os aspectos da modelagem da rede do item 3.2.2 do presente documento e a representação da linha de transmissão, conforme referência do no parágrafo anterior:

- Etapa 1 – Estudo de regime permanente com o objetivo de obter as correntes de arco secundário ( $I_a$ ) e a tensão induzida na fase aberta;
  - A corrente de arco secundário e a tensão induzida na fase aberta sob condição de abertura monopolar devem ser obtidas para defeito aplicado em ambos os terminais da linha de transmissão e com o fluxo na linha ajustado em patamar o mais elevado possível, com objetivo de maximizar as correntes induzidas.
  - A corrente de arco secundário e a tensão induzida na fase aberta devem ser obtidas para a faixa de frequência operativa (56 a 66Hz) da rede, com o objetivo de verificar possíveis condições de ressonância.
  - A corrente de arco secundário máxima deve ficar limitada em  $50 A_{\text{eficaz}}$ , de acordo com a curva indicativa para análise da corrente de arco secundário do critério adotado.
  - A tensão induzida na fase aberta não deve ser superior à máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, de acordo com a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

- Etapa 2 – Estudo transitório da manobra de extinção do arco com o objetivo de obter a curva de tensão de restabelecimento transitória do arco ( $V_p$ ).
  - O valor da TRT (primeiro pico) correspondente ao valor ( $V_p$ ) deve ser obtido para os pontos de aplicação do defeito nos terminais da linha de transmissão, na frequência de 60Hz, a partir da tensão entre os contatos da chave, durante a sua abertura — simulando a extinção da corrente de arco secundário, conforme estabelecida na primeira etapa de simulação de regime permanente.

Com o par de valores ( $I_a, V_p$ ), é possível, então, avaliar o sucesso da extinção do arco secundário por sua localização na curva indicativa para análise da corrente de arco secundário, conforme apresentado nas Figuras 3.5 e 3.6.

#### 3.2.7.4. Extinção do Arco Secundário pela Utilização de Reator de Neutro

Caso a extinção do arco secundário não seja favorável, deve-se buscar a sua adequação, inicialmente, pelos meios convencionais, como a adoção de reatores de neutro. As etapas 1 e 2, conforme acima descritas, devem, então, ser reprocessadas com o objetivo de definir o valor mais adequado do reator(es) de neutro.

Observa-se que valores compreendidos na faixa de 400 a 600ohms têm sido adotados com sucesso na adequação do arco secundário, em estudos de religamento monopolar desenvolvidos para as instalações da Rede Básica do SIN.

Durante as etapas de simulação do arco secundário, cobrindo a faixa de frequência operativa do sistema, as tensões no neutro do reator de linha devem ser observadas, tendo em vista a especificação do seu nível de isolamento, juntamente com as correntes no reator de neutro, para efeito do seu dimensionamento. Também deve ser dimensionado o para-raio de neutro.

Devem ser adotadas, preferencialmente, soluções que não resultem na necessidade de fabricação de equipamentos especiais, com nível de isolamento do neutro superior ao valor padronizado em 72,5kV, conforme recomendado no item 9.2.2.3 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

A Tabela 3.1 a seguir apresenta o roteiro para a especificação do reator de neutro.

Tabela 3.1. Especificação do Reator Neutro.

|   |   |
|---|---|
| Valor da Reatância do Reator de Neutro (OHMS)         | Valor escolhido em função da necessidade de adequar o par de valores ( $V_p, I_a$ ) à tensão induzida na fase aberta.<br>Obs.: O reator de neutro também pode vir a ser recomendado para atenuar os pontos de ressonância, em função do grau de compensação reativa shunt da linha (vide item 3.2.3). |
| Corrente de Curta Duração 1 Minuto (AMPERES)          | Sugere-se adotar a maior corrente no reator de neutro, verificada nas simulações sob condição de regime permanente (etapa 1) com defeito aplicado, adicionando-se uma margem de segurança (típica), da ordem de 20%, visando a acomodar evoluções futuras dos níveis de curto-circuito na rede.       |
| Corrente de Regime Permanente (AMPERES)               | Sugere-se valor da ordem de 15% da corrente de curta duração.   |
| Potência de Regime Permanente (KVAR)                  | $P=(Z \cdot I^2)$ , em (KVAR), onde: Z= reatância do reator de neutro em (ohms) e I a corrente de regime permanente (em ampères), calculada conforme linha anterior.  |
| Nível de Isolamento do Neutro do Reator de Linha (KV) | Valor padronizado – 72,5kV ou maior caso indispensável.   |

### 3.2.7.5. Apresentação dos Resultados

Na apresentação dos resultados estatísticos e determinísticos do estudo das sobretensões transitórias do religamento monopolar, aplicam-se as mesmas diretrizes estabelecidas no item 3.2.5.4 referente ao estudo do religamento tripolar do presente documento.

Os resultados das simulações referentes às etapas 1 e 2 do estudo da extinção do arco secundário devem ser apresentados em tabelas e complementados com os gráficos das formas de onda das correntes de arco secundário e das tensões correspondentes às condições mais críticas verificadas.

As tabelas devem apresentar os valores das correntes de arco secundário ( $K A_{eficaz}$ ), primeiro pico da TRT ( $K V_{pico}$ ), a tensão induzida na fase aberta ( $K V_{eficaz}$ ), indicando-se os pontos de aplicação dos defeitos, o valor do reator de neutro em ohms com os parâmetros para a sua especificação, caso aquele seja recomendado. A apresentação dos resultados deve abranger a faixa de frequência operativa do sistema (56-66 Hz) considerada nas simulações.

O item 8.5 apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de religamento monopolar.

### 3.2.8. Estudo de Energização de Transformadores

Esse estudo tem como objetivo principal identificar, na etapa de projeto básico da subestação, as solicitações de tensões e correntes resultantes da manobra da energização de transformadores impostas ao próprio transformador, à rede e aos equipamentos vizinhos. Entre as conclusões mais importantes esperadas nesse tipo de estudo, mencione-se a orientação quanto à necessidade ou

não de instalação de resistores de pré-inserção e/ou dispositivos de manobra controlada para os disjuntores de manobra dos transformadores, além da indicação de parâmetros mais adequados para a especificação desse equipamento.

### 3.2.8.1. Característica de Magnetização do Transformador – Corrente de “Inrush”.

O núcleo do transformador é composto de material magnético que, na presença de campo magnético alternado, opera em ciclo de histerese ( $\Phi \times I_m$ ). A partir da curva de histerese é possível obter, de maneira aproximada, a curva de magnetização ou curva de saturação do transformador, que é o lugar geométrico dos vértices dos ciclos de histerese.

A curva de magnetização pode ser dividida em duas regiões: até o ponto em que o fluxo atinge o valor ( $\Phi_s$ ), definido como joelho da curva, e após este valor.

A condição de operação até o “joelho” é considerada de regime permanente e possui característica linear. A inclinação ( $\Phi \times I_m$ ) representa a indutância de magnetização.

Na região de operação além do joelho, observa-se que, com pequena variação no fluxo em função da variação da tensão, ocorre grande variação na corrente de magnetização. Nessa condição, os enlaces de fluxos se estabelecem pelo ar, ficando caracterizada a reatância de núcleo de ar ( $X_{ac}$ ), ou reatância saturada.

A Figura 3.7 apresenta, a título de exemplo, a curva de saturação com a indicação do joelho e da reatância saturada ( $X_{ac}$ ) de um transformador 230/69kV – 100MVA, obtida a partir do ensaio do transformador em vazio.

As características construtivas do transformador determinarão o valor do joelho (em pu) e o valor da reatância de núcleo de ar. Autotransformadores, em geral, possuem valores de  $X_{ac}$  mais elevados que os transformadores propriamente ditos.

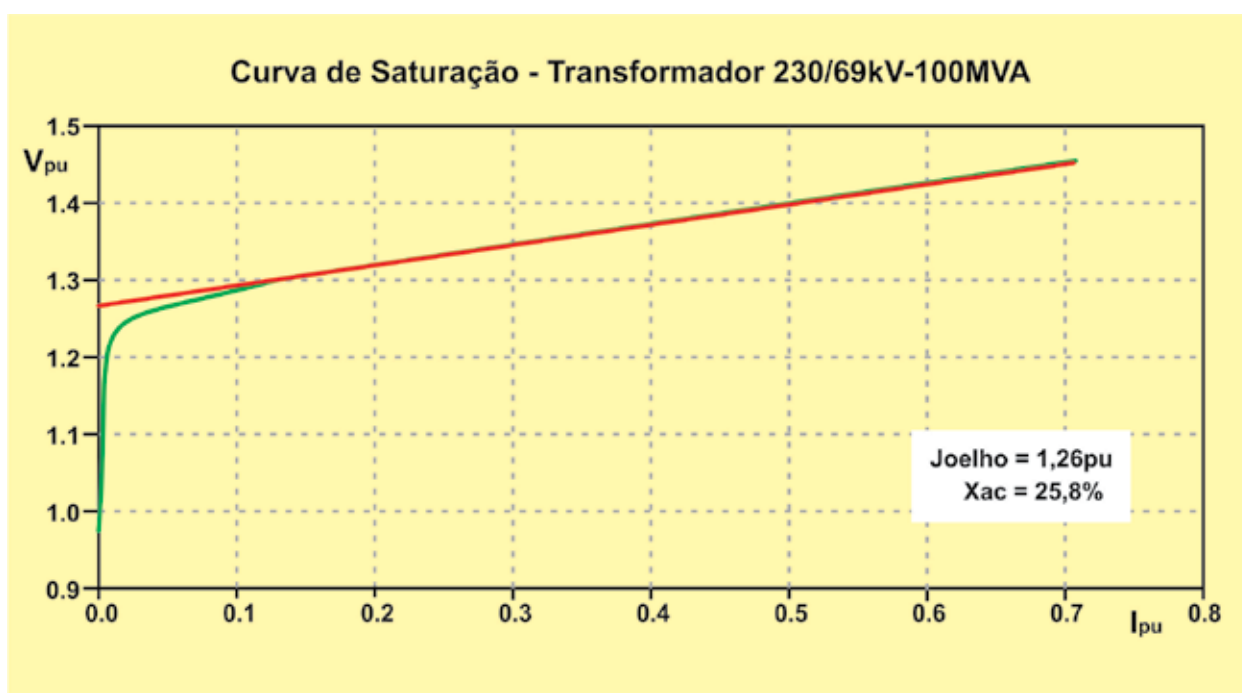
Um valor típico para o joelho da curva de saturação é de 1,20 pu. Valores maiores podem acarretar sobrecustos. A especificação de baixos níveis de ruído leva a valores de joelho mais elevados.

A escolha da utilização de autotransformadores ou transformadores está normalmente associada à relação de transformação. Relações menores levam, por motivos econômicos, à escolha de autotransformadores. Por exemplo: as relações 500/440 kV, 500/345 kV, 345/230 kV são tipicamente de autotransformadores. Por sua vez, relações 500/138, 500/69, 345/69, 230/69 kV costumam levar à adoção de transformadores.

Os valores de  $X_{ac}$  são consequência de uma série de fatores, atribuídos durante o projeto do transformador, entre os quais citamos: tipo construtivo (SHELL type ou CORE type), tipo de

transformação (transformador ou autotransformador), valor de impedância especificado, no caso de autotransformadores, relação de transformação e layout dos enrolamentos adotados no projeto.

Figura 3.7. Exemplo de Curva de Saturação – Transformador 230/69kV – 100MVA.



A operação na região além do joelho é observada durante transitórios da manobra de energização ou na eliminação de defeitos aplicados aos terminais do transformador. A corrente observada nos enrolamentos durante a manobra é denominada corrente de “inrush”.

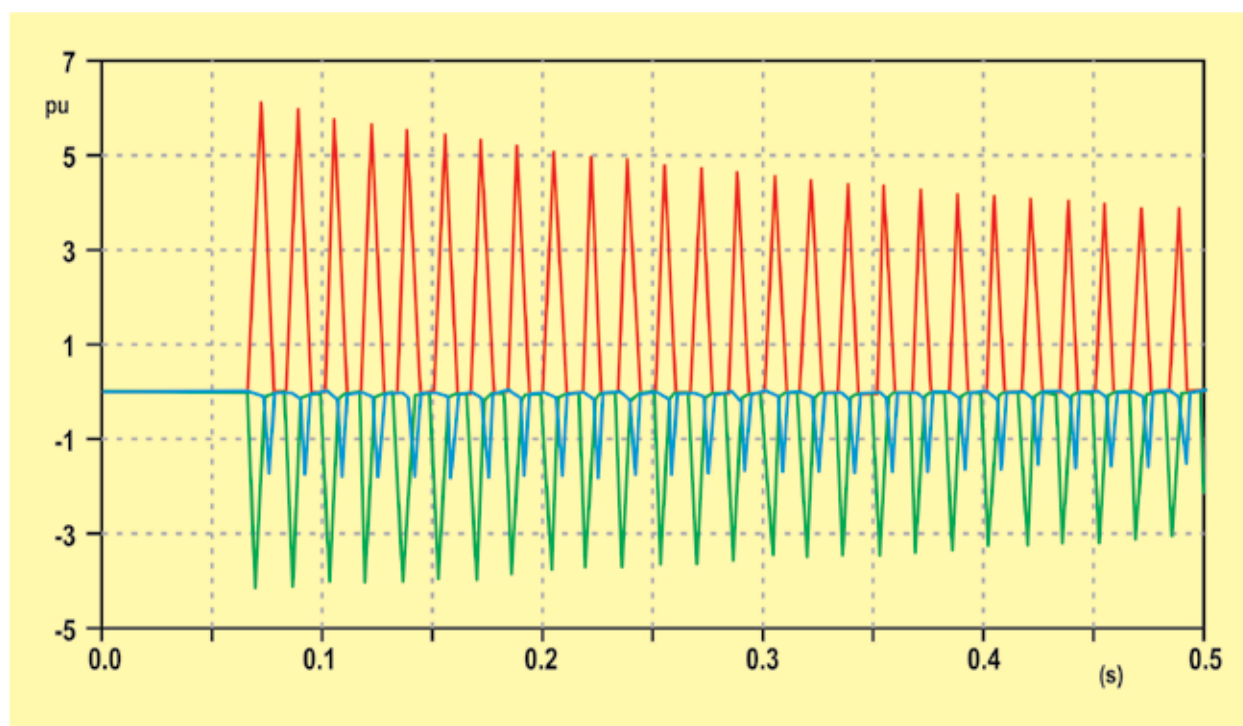
O valor da corrente de “inrush” depende dos seguintes fatores: ponto na forma de onda da tensão onde ocorre a energização; polaridade do magnetismo residual que permanece no núcleo do transformador, após a última abertura; característica da curva de saturação; e impedância da rede no ponto da manobra.

A condição teórica que resulta em valor máximo da corrente de “inrush” corresponde à realização da energização no instante em que a tensão passa pelo zero, com o fluxo magnético residual em seu valor máximo em uma das fases e o fechamento do disjuntor no instante de polaridade de fluxo inverso ao fluxo residual, conforme referência [5.3].

A corrente de “inrush” pode atingir, nos primeiros ciclos após a energização, valores elevados, correspondentes a várias vezes o valor da corrente nominal do transformador manobrado, decrescendo em amplitude até atingir o regime permanente e com duração relativamente longa, da ordem de segundos. A corrente de “inrush” em patamares elevados resulta em esforços mecânicos para os enrolamentos do transformador, podendo de maneira acumulativa ocasionar falhas internas, devido à danificação equipamento.

A Figura 3.8 apresenta a forma de onda típica da corrente de “inrush” da energização de um transformador 230/69kV – 100MVA.

**Figura 3.8. Exemplo de Corrente “Inrush” – Manobra Transformador 230/69kV-100VA.**



A análise da característica de saturação permite concluir que, quanto menor for a inclinação da curva de saturação além do joelho, correspondente à reatância saturada ( $X_{ac}$ ), mais severas poderão ser as correntes de “inrush”, pois uma inclinação menor indica maior não linearidade. Nesta condição, para se obter variação mínima de fluxo, é necessário um aumento significativo da corrente.

Na realização do estudo de energização do transformador, deve-se avaliar a adequação dos parâmetros (joelho e  $X_{ac}$ ), como também a adoção de outras medidas as mais usuais. Por exemplo: resistores de pré-inserção e dispositivos de manobra controlada a ser instalados nos disjuntores, de maneira a contribuir para a redução dos impactos das manobras de energização sobre os transformadores e na própria rede, com benefícios para a vida útil dos equipamentos.

O termo “manobra controlada” é comumente empregado para descrever a utilização de equipamento de controle, de maneira a facilitar a operação dos contatos do disjuntor em ponto pré-determinado em relação a um sinal elétrico de referência. No caso da manobra de energização do transformador — no sentido de reduzir a corrente de “inrush” —, o alvo corresponde a promover o fechamento dos contatos do disjuntor no pico máximo da tensão ou de condição de fluxo nulo. Teoricamente, não estando presente o fluxo residual, isto resulta em corrente de “inrush” nula. Existe no mercado um dispositivo de manobra controlada dotado de lógica preditiva de fluxo residual.

É recomendável a consulta à referência [5.5] na qual é apresentada, em detalhe, a filosofia de funcionamento de dispositivos de manobra controlada.

A corrente de “inrush” apresenta como característica as componentes harmônicas de baixa ordem, sendo as mais significativas situadas entre a 3ª e a 7ª ordem. Durante a manobra de energização de um transformador ocorre a interação entre este equipamento e a rede. Neste caso, havendo coincidência de valor de impedância elevada da rede para algumas destas frequências características da corrente de “inrush”, poderá surgir sobretensão com forma de onda distorcida, devido à circulação destas correntes harmônicas.

Essa sobretensão, composta pela frequência fundamental somada às componentes harmônicas, pode atingir patamares severos, com riscos de danificar equipamentos ou sensibilizar proteções de sobretensão com o desligamento de parte do sistema.

Uma maneira de prever a possibilidade de ocorrência da condição de ressonância acima descrita é o conhecimento da impedância da rede  $Z(\omega)$  para as várias frequências esperadas, levando em consideração a configuração do sistema, inclusive sob condição de rede degradada.

Se a adoção das medidas usuais supramencionadas — disjuntores com dispositivos de manobra controlada ou resistores de pré-inserção — não for suficiente para a eliminação das restrições à manobra, será necessário especificar, para a transformação, uma característica ferromagnética (joelho e  $X_{ac}$ ) suficientemente alta para a eliminação completa das restrições, mesmo que isto implique eventuais sobrecustos.

Portanto, a transformação só deve ser definitivamente especificada para aquisição após a realização do estudo de manobra. Entretanto, é recomendável que os contatos com os fabricantes sejam feitos previamente, pois o estudo poderá assumir premissas iniciais com base na experiência do fornecedor em potencial, para unidades de reatância, porte e relação de tensão semelhante.

### 3.2.8.2. Diretrizes para Estudos de Energização de Transformadores

Nos estudos, deve ser considerada a possibilidade da energização por ambos os terminais do transformador, com o sistema íntegro e degradado, sob indisponibilidade de um componente da rede (n-1), tendo em vista as manobras de recomposição no sistema.

As avaliações serão efetuadas para o transformador em vazio sem falta aplicada, considerando-se os recursos de controle de sobretensões, como resistores de pré-inserção e/ou dispositivos de manobra controlada. Também deve ser considerado o fluxo residual do transformador.

As simulações de energização sob defeito têm por finalidade identificar as máximas sobretensões advindas da manobra, avaliando os impactos sobre os para-raios. Entretanto, a experiência no

acompanhamento de estudos desta natureza ao longo dos anos tem mostrado que, embora as sobretensões aumentem de fato, este tipo de manobra não costuma causar valores tão elevados de sobretensão que venham a impactar a definição dos para-raios. De tal sorte que a necessidade deste tipo de simulação está em processo de reavaliação.

Para a modelagem completa do transformador na base de dados ATP, é necessário incluir a representação da curva de histerese, cujos pontos podem ser obtidos, por exemplo, pelo processamento da rotina “HYSTERESIS HEVIA” do ATP, considerando-se os valores de joelho, reatância saturada ( $X_{ac}$ ) e os pontos da curva de saturação vista dos terminais do enrolamento da realização da manobra. O fluxo residual deve também ser ajustado, recomendando-se valor da ordem de 50% a 60% do fluxo nominal da transformação.

Visando a impor a condição mais crítica, o fluxo residual deve ser considerado com seu valor máximo numa das fases e abranger o fechamento do disjuntor no instante de polaridade de fluxo inverso em relação ao fluxo residual, conforme recomendado no item 9.2.1.8 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Considerando-se que os estudos estão desenvolvendo-se na etapa de projeto básico da subestação, na maioria das vezes a curva de saturação de transformadores ainda não está disponível, já que é obtida a partir de testes em fábrica (ensaio em vazio). Neste caso, devem ser adotados dados típicos, sendo recomendada a comprovação da sua adequação ao caso estudado.

Na avaliação da suportabilidade dos transformadores, na falta de informações oficiais do fabricante devem-se adotar os valores indicativos de sobretensões admissíveis a 60Hz para transformadores em vazio, de acordo com o item 10.3.1 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

### 3.2.8.3. Premissas para Ajuste dos Casos ATP

Os impactos causados por energização de unidades transformadoras são, geralmente, mais severos, sob condição da rede mais fraca, com menor nível de curto-circuito. É o caso das configurações com menor número de unidades geradoras despachadas, verificadas, na maioria das vezes, em condição de carga leve.

Para aferição da topologia representada, redes de sequência zero e positiva, é necessário aferir os níveis de curto-circuito trifásico e monofásico. Devem-se também afastar os equivalentes de 60 Hz do ponto de manobra até pelo menos duas barras de distância. Caso haja transformação na barra fronteira, preferencialmente colocar o equivalente no lado de tensão oposto ao da manobra, com a saturação representada.

A tensão de pré-manobra precisa ser ajustada igual à máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, de acordo com a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Os transformadores localizados na região de influência da manobra deverão ser representados com as suas curvas de saturação.

#### 3.2.8.4. Desenvolvimento das Simulações e Análises

Em função da aleatoriedade dos instantes de fechamento dos polos do disjuntor, o estudo das manobras de energização de transformadores deve ser realizado de maneira estatística, considerando-se, pelo menos, uma amostragem de duzentos chaveamentos.

Para a modelagem do disjuntor no programa ATP, aplicam-se as recomendações do item 9.2.1 dos Procedimentos de Rede do ONS, com destaque para os seguintes aspectos:

- O disjuntor deve ser representado pela chave estatística, com os tempos de fechamento caracterizados por distribuição gaussiana, com média uniformemente distribuída ao longo de um ciclo da senoide, sendo recomendados, pelo menos, ( $\pm 2$ ) quatro desvios-padrões em correspondência à máxima dispersão entre polos das três fases do disjuntor;
- Na modelagem de disjuntores dotados de resistores de pré-inserção, tanto os contatos principais quanto os auxiliares devem ser modelados como chaves estatísticas; a operação dos contatos principais deve ocorrer de maneira dependente daquela associada aos contatos auxiliares, após o tempo de inserção dos resistores das três fases, levando-se em conta sua dispersão e tempo médio;
- Na modelagem de disjuntores dotados de dispositivos sincronizadores, é necessário definir-se previamente, com auxílio de simulação determinística, o instante ideal de fechamento de cada polo do disjuntor. Esse instante de tempo é adotado como tempo médio de operação de cada polo a ser representado por chave estatística com distribuição gaussiana. As dispersões em torno dos tempos médios de cada polo são representadas pelo desvio padrão do tempo de fechamento do conjunto disjuntor-sincronizador. Essas dispersões são função da precisão mecânica do disjuntor, da precisão do sincronizador, bem como da variação da taxa de decremento da rigidez dielétrica (RDDS) do meio dielétrico entre os contatos, durante o fechamento do disjuntor;
- A modelagem de disjuntores com sincronizadores precisa basear-se nas publicações da Revista Electra do CIGRE (abril, 1999 e agosto, 1999), conforme referência [5.5], as quais apresentam a metodologia a ser considerada na representação desse dispositivo, nos estudos de energização de transformadores. Na modelagem com o ATP, é necessário considerar um desvio padrão de ( $\pm 3$ ) de dispersão total para o tempo de fechamento do conjunto disjuntor-sincronizador, quando o mesmo for calculado segundo a metodologia descrita naquela referência;

- Na modelagem dos transformadores, deve-se representar um fator de qualidade para as reatâncias do primário, secundário e terciário. Representar adequadamente os amortecimentos existentes faz diferença no resultado final das simulações;
- Na avaliação da suportabilidade do transformador, deve-se considerar a curva de suportabilidade garantida pelo fabricante, e, na falta dessa informação, devem ser utilizados os valores indicativos apresentados na Tabela 6 do item 10.3.1 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS;
- Em caso de existirem 2 transformadores em paralelo, deverá ser simulada a energização da segunda unidade, com a primeira previamente energizada, também em vazio;
- Não se aplicam à manobra de energização dos transformadores os requisitos de desempenho harmônico definidos no submódulo 2.8;
- A representação adequada da curva de saturação do elemento manobrado é fundamental para a credibilidade dos resultados da manobra simulada:
  - Utilização de valores de joelho e  $X_{ac}$  realistas;
  - Um número de pontos  $V \times I$  que garanta mínima precisão (não se trata de estudo de planejamento);
  - Cuidado em evitar descontinuidades abruptas na curva  $V \times I$ , que origina a curva  $F_i \times I$ . Isto pode levar a problemas numéricos de simulação;
- Aplicam-se as diretrizes do item 3.2.2.3 do presente documento relativo aos parâmetros da simulação

### 3.2.8.5. Apresentação dos Resultados

A apresentação dos resultados estatísticos das simulações no documento do estudo deve ser feita por meio de tabelas e conter: identificação do caso estudado; configuração do sistema (se completa ou n-1); se houve aplicação de defeito; se a manobra foi com ou sem resistor de pré-inserção ou sincronizador; valor da tensão de pré-manobra (pu); valor médio das sobretensões (pu); desvio padrão correspondente (pu); valor da sobretensão máxima (pu); máxima energia dissipada nos para-raios (kJ); e valor máximo da corrente de “inrush” (pu).

Devem-se também efetuar simulações determinísticas, apresentando os gráficos com as formas de onda das sobretensões e das energias dissipadas nos para-raios, correspondentes às condições mais críticas encontradas.

Convém lembrar que os casos mais severos de tensão, corrente de inrush ou energia nos para-raios, oriundos das simulações estatísticas, muitas vezes não pertencem a uma mesma simulação

física. Desta forma, os oscilogramas a ser apresentados muitas vezes não pertencem a um só caso determinístico.

Na apresentação dos gráficos com as formas de onda das sobretensões, correntes de “inrush” e energia dissipada nos para-raios, deve haver coerência na escala dos tempos que caracterizam os fenômenos de transitórios eletromagnéticos, conforme diretriz estabelecida no item 3.2.2.3 do presente documento.

Complementarmente, podem ser apresentados os gráficos com as curvas de variação da impedância com a frequência vista pelos terminais da manobra do transformador, quando este tipo de avaliação for empregado nas análises.

O item 8.6 apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de transitórios eletromagnéticos de energização de transformadores.

### **3.2.9. Energização de Banco de Capacitores**

Este estudo compreende avaliações dos transitórios de corrente e de tensão, devido a manobras de energização, aplicação e eliminação de defeito associado a banco de capacitores em derivação, cujos transitórios podem resultar em impactos sobre os demais equipamentos locais, dentro da mesma subestação, como também em barras remotas.

Os resultados dessas avaliações precisam ser considerados na etapa de projeto básico da instalação, com o objetivo de subsidiar a especificação, caso necessário, de indutores limitadores de corrente a ser instalados em série com o banco de capacitores, como também para controle das sobretensões e da recomendação de disjuntores dotados com resistores de pré-inserção e/ou de sincronizadores, além do dimensionamento dos para-raios.

#### **3.2.9.1. Aspectos Gerais**

Dentre os diversos estudos necessários à instalação de banco de capacitores no sistema, o da energização do banco e o de curto-circuito aplicado na sua proximidade estão relacionados ao fenômeno de transitórios eletromagnéticos.

O estudo de energização pode ser dividido sob o aspecto da tensão e da corrente.

Sob o aspecto da tensão, objetiva-se o dimensionamento dos dispositivos para o controle das sobretensões — como o resistor de fechamento ou sincronizadores para o disjuntor de manobra do banco de capacitores e de para-raios.

Quanto ao aspecto da corrente, a finalidade é identificar o seu valor e a respectiva frequência, no sentido de especificar, caso necessário, o indutor limitador de corrente a ser instalado em série com o banco.

O estudo que considera a aplicação de curto-circuito em diversos pontos da subestação — nas proximidades do banco de capacitores — tem também por objetivo a identificação das solicitações impostas aos demais equipamentos por contribuição do banco de capacitores.

Na referência [5.4], são apresentados os fenômenos transitórios associados à manobra de banco de capacitores pela teoria de circuitos elétricos, podendo-se relacionar os seguintes aspectos considerados mais relevantes:

- A corrente no capacitor, devido à manobra de energização e a descarga sob curto-circuito, é diretamente proporcional à tensão do banco no instante da manobra;
- O valor da resistência série presente no circuito formado pela indutância do barramento e a capacitância do banco, por ocasião da sua descarga sob condição de curto-circuito, contribuem para amortecer as oscilações da corrente de descarga. Este é o caso de quando se empregam resistores de pré-inserção;
- As sobretensões transitórias mais severas são resultantes, sempre, da energização do primeiro banco de capacitores, dentre vários em paralelo e pela desenergização do último banco de capacitores, devido ao reacendimento do arco;
- As sobrecorrentes mais severas ocorrem pela energização de um banco de capacitores na presença de outros já energizados no mesmo ponto da subestação (back-to-back), isto é, o último de um conjunto de bancos energizados; e pela ocorrência de defeito na subestação e descarga dos bancos de capacitores;
- Na energização (back-to-back) ocorre a descarga dos bancos sobre os quais estão sendo energizados, tornando as solicitações crescentes em função do número de bancos; além disso, devido às indutâncias entre bancos serem de pequeno valor, as correntes produzidas caracterizam-se por altas frequências;
- Como forma de reduzir a amplitude e a frequência das correntes que surgem devido à energização (back-to-back) e sob curto-circuito nas proximidades dos bancos, são empregados indutores em série com os bancos. Tais valores, usualmente, são da ordem de centenas de micro Henries ( $\mu\text{H}$ );
- Para redução da sobretensão ocasionada pela manobra de banco de capacitores, as soluções adotadas podem ser a instalação de dispositivos de manobra controlada nos disjuntores ou de resistores de pré-inserção, assim como de para-raios;
- O ponto ideal da energização de um banco de capacitores com conexão do tipo estrela aterrada, no sentido de reduzir a amplitude da corrente de energização e as sobretensões, deve corresponder ao instante do zero da tensão pelos contatos do disjuntor em cada fase.

### 3.2.9.2. Diretrizes para os Estudos de Energização de Banco de Capacitores

Com o objetivo de avaliar os transitórios de tensão e de corrente, deve ser estudada a energização sob as seguintes condições:

- Energização do primeiro banco de capacitores;
- Abertura do último banco de capacitores com ocorrência do reacendimento do arco;
- Energização do último banco de capacitores com os demais já energizados; e
- Curto-circuitos próximos aos bancos de capacitores.

A abertura capacitiva de um dos bancos — sem a aplicação de defeito e com a presença dos demais — também deve ser avaliada.

Os bancos de capacitores para as instalações da Rede Básica são do tipo estrela aterrada, e devem ser considerados, na modelagem, os valores das suas perdas e da sua indutância intrínseca, como também a indutância dos barramentos.

No dimensionamento das medidas mitigadoras, tais como o dimensionamento de reatores limitadores, deve-se levar em conta a suportabilidade dos transformadores de corrente.

Uma vez conhecidas a tensão máxima suportável, as cargas secundárias e a relação de transformação, é possível estabelecer o produto  $I \cdot F$  (corrente  $\cdot$  frequência) máximo admissível.

Este critério, embora usual e conservador, não exclui a possibilidade de que ocorram situações nas quais a frequência predominante da corrente de “inrush” esteja sintonizada com alguma frequência de ressonância paralela contida no  $Z(j\omega)$  das cargas secundárias dos TCs (cabos, relés etc.). Entretanto, a utilização de proteções digitais em novos empreendimentos reduz a carga secundária dos TCs de proteção, de forma geral, à indutância dos cabos de controle, ou seja, bastante inferiores às cargas padronizadas de norma. Assim sendo, a utilização de cabos de controle de maior bitola poderá contribuir para a redução das solicitações aos secundários dos TCs.

O produto  $I \cdot F$  também pode ser reduzido pela diminuição da magnitude da corrente de “inrush”, por meio, por exemplo, da utilização de fechamento sincronizado.

As tensões aplicadas às bobinas de bloqueio das linhas que chegam/saem da subestação, devido à circulação de correntes de alta frequência (descarga dos bancos de capacitores), também devem ser avaliadas, pois podem exceder a suportabilidade destes equipamentos.

Outros equipamentos potencialmente afetados pela inserção de novos bancos de capacitores na subestação são os disjuntores, uma vez que as TRTs de sua abertura podem ser alteradas. Adicionalmente, os para-raios próximos também podem ser afetados pelas manobras dos bancos

de capacitores. Principalmente se forem para-raios antigos, de gap. Neste caso, a suportabilidade do gap é afetada pela frequência da solicitação, podendo ocorrer disparos não originalmente previstos.

Por fim, ressalta-se que as manobras de bancos de capacitores de porte podem ocasionar sobretensões temporárias e transitórias, fase-fase e fase-terra, com magnitude e frequência capazes de impor solicitações a equipamentos localizados não só na própria subestação, mas, algumas vezes, em subestações eletricamente próximas.

Evidentemente, avaliações em subestações vizinhas, caso feitas, têm caráter apenas prospectivo, identificando problemas potenciais para posterior detalhamento dos donos dos ativos afetados e estudos operativos.

Do ponto de vista do empreendedor dono dos ativos de um novo empreendimento de transmissão, cabe lembrar o seguinte: o rating (suportabilidade) de seus equipamentos deve levar em conta, caso existam, a presença de bancos de capacitores de porte em locais eletricamente próximos.

### 3.2.9.3. Premissas para Ajuste dos Casos ATP

O caso base do ATP a ser utilizado nas simulações da manobra de energização do banco de capacitores deve considerar a condição do caso de referência do PAR-ONS, no qual os bancos de capacitores encontram-se em operação na rede, e com a tensão de pré-manobra ajustada à mais próxima possível da máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, de acordo com a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

### 3.2.9.4. Desenvolvimento das Simulações e Análises

Os estudos de energização dos bancos de capacitores, abertura com reacendimento e descarga devido a curto-circuitos, devem ser realizados de maneira estatística, considerando-se, pelo menos, uma amostragem de duzentos chaveamentos.

Para a definição dos tempos médios de fechamento dos disjuntores, deve ser considerado o tempo de dispersão máximo entre contatos do disjuntor.

Nas simulações, é necessário considerar os para-raios dos bancos de capacitores e o reator limitador de corrente, cujo valor precisa ser comprovado por meio das simulações.

Devem ser processados casos determinísticos para os instantes de fechamento que resultaram em maiores sobretensões, sobrecorrentes e energias nos para-raios, em correspondência com os casos estatísticos.

Nas manobras sob a aplicação de falta, a mesma deve ser considerada aplicada em regime permanente e do tipo monofásica.

Aplicam-se as diretrizes do item 3.2.2.3 do presente documento, relativo aos parâmetros da simulação. Tendo em vista a alta frequência do fenômeno estudado, o tempo de integração deve ser de valor baixo o suficiente para permitir a análise adequada.

No caso do emprego de disjuntores com sincronizadores, devem ser adotadas como referência as publicações da Revista Electra do CIGRE (abril, 1999 e agosto, 1999), conforme referência [5.5], que apresenta o detalhamento da filosofia de funcionamento e das modelagens associadas.

Uma das dificuldades deste tipo de estudo é a modelagem da rede adjacente à manobra. Por muitas vezes o banco de capacitores se situa em redes de 138 kV ou menos. Neste nível de tensão, as linhas costumam ser curtas, e às vezes tão curtas — com subestações próximas que possuem bancos de capacitores shunt manobráveis — que os casos de fluxo de potência eventualmente consideram como embutidos na carga total da barra. Nestas situações o desconhecimento da informação é capaz de suprimir frequências adicionais que poderiam influenciar os resultados das simulações.

### 3.2.9.5. Apresentação dos Resultados

A apresentação dos resultados estatísticos das simulações no documento do estudo deve ser realizada por meio de tabelas que contenham: a identificação do caso estudado; o ponto monitorado para efeito das sobretensões na subestação; o valor do indutor série com o banco e do resistor de pré-inserção do disjuntor, caso necessário; o valor da tensão de pré-manobra (pu); o valor médio das sobretensões (pu); o correspondente desvio padrão (pu); o valor da sobretensão máxima (pu); a máxima energia dissipada nos para-raios (kJ); e o valor máximo da corrente de energização (kApico) com a sua frequência (Hz).

Para as simulações determinísticas, devem ser apresentados gráficos com as formas de onda das sobretensões, correntes de energização e energias dissipadas nos para-raios, correspondentes às condições mais críticas encontradas.

Na apresentação dos gráficos com as formas de onda das sobretensões, correntes de “inrush” e energia dissipada nos para-raios, deve haver coerência na escala dos tempos que caracterizam os fenômenos de transitórios eletromagnéticos, conforme diretriz estabelecida no item 3.2.2.3 do presente documento.

## 3.2.10. Tensão de Restabelecimento Transitória

Estudos desta natureza objetivam quantificar as solicitações impostas aos disjuntores que integram o empreendimento. Abrangem avaliações de TRT (tensão de restabelecimento transitória), sob as diversas condições de manobras de abertura de disjuntores.

### 3.2.10.1. Aspectos Gerais

A interrupção da corrente de curto-circuito pode ser subdividida em três etapas. A primeira ocorre com os contatos ainda fechados. Nesta fase predomina o efeito Joule. Durante esta fase, o disjuntor opera inicialmente com a corrente de carga e logo após com a corrente de curto-circuito.

Na segunda etapa, com os contatos principais já em movimento, ocorre a comutação da corrente passante para os contatos de arco. Nesta fase se inicia a separação dos contatos de arco, mas não ainda a interrupção da corrente mantida pelo arco elétrico. Inicia-se a fase térmica da interrupção. Em seguida, ainda nesta fase, há a passagem por zero da corrente. Nas proximidades deste ponto o comportamento térmico determinará o sucesso da interrupção.

Por fim, inicia-se a fase dielétrica da interrupção. Durante o processo de interrupção, o arco perde rapidamente a condutividade, quando a corrente se aproxima do zero. Alguns microssegundos após a passagem por zero, a corrente deixa de circular e o sistema responde, surgindo a TRT.

A TRT é definida pela diferença de tensão através dos contatos dos disjuntores e é composta pela parcela da tensão na frequência fundamental (tensão de restabelecimento) e por uma parcela de tensão com frequência mais elevada. A natureza e o valor da TRT dependem, também, do tipo de circuito interrompido (resistivo, capacitivo ou indutivo), da impedância do sistema vista dos terminais do disjuntor, da tensão nominal do sistema, da carga, do tipo da falta, de sua magnitude e localização.

Na interrupção da corrente de falta, a tensão na frequência fundamental (tensão de restabelecimento), a qual surge entre os polos do disjuntor após o amortecimento da oscilação transitória, está relacionada diretamente à tensão da rede, variando em função do aterramento do sistema (solidamente aterrado ou neutro isolado), além de depender do tipo de curto-circuito (trifásico aterrado ou não, bifásico aterrado ou não, e monofásico).

O fator de primeiro polo é um dos parâmetros utilizados na especificação de disjuntores, e relaciona a tensão à frequência fundamental entre os terminais do primeiro polo a interromper a corrente de curto-circuito à tensão fase-terra da rede, antes da ocorrência do curto-circuito.

Na referência [5.2 e 5.4], são apresentadas as demonstrações desta e de outras correlações existentes entre a característica do aterramento do sistema versus os tipos de defeitos aplicados, considerando-se a situação pré-abertura de fases perfeitamente equilibradas e defasadas ( $120^\circ$ ), bem como tensões do lado fonte de 1,0 pu.

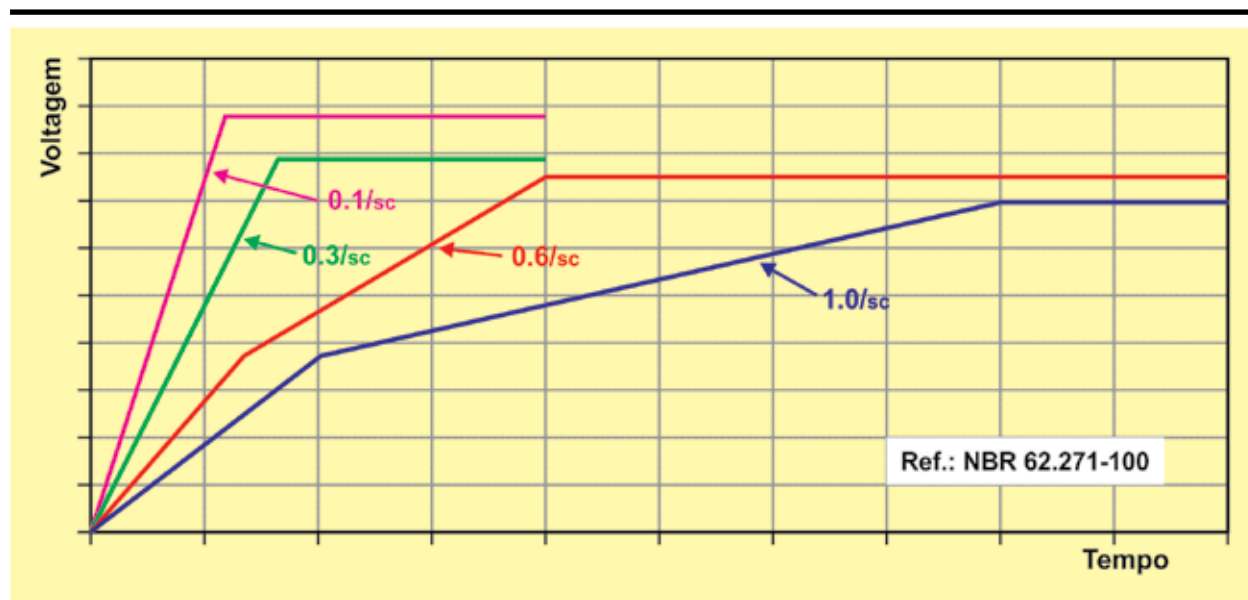
Como regra geral, pode-se afirmar que, para sistema robusto e assumindo-se as simplificações acima, o fator de primeiro polo é menor do que 1,3, exceto no caso de curto-circuito trifásico não aterrado, que pode ser considerado estatisticamente raro.

O fator de primeiro polo e a tensão de restabelecimento na frequência fundamental são parâmetros determinantes no estabelecimento dos valores das TRTs, sob o ponto de vista da normalização dos disjuntores.

Em função da tensão nominal do sistema, da magnitude da corrente de falta e de outras variáveis, as formas de onda das TRTs podem ser descritas e normalizadas através de dois ou quatro parâmetros. Geralmente, a caracterizada por dois parâmetros se refere à TRT com apenas uma frequência de oscilação, e a de quatro parâmetros se refere à TRT de duas ou mais frequências de oscilação.

A Figura 3.9 apresenta exemplos de envoltórias normalizadas pela representação a dois e a quatro parâmetros, mostrando sua variação em função da magnitude da corrente de falta, para tensão nominal do sistema igual ou superior a 72,5kV.

**Figura 3.9. Exemplo de Característica Típica da Envoltória Normalizada da TRT em Função da Magnitude da Corrente de Falta para Tensão Nominal Superior a 72,5kV – Representação a Dois e a Quatro Parâmetros.**



A norma atualmente em vigor no Brasil, adotada como referência para a obtenção das envoltórias da TRT de disjuntores, é a ABNT NBR IEC 62271-100:2006, cujos valores são normalizados para a condição de fator de primeiro polo igual a 1,3.

A referida norma apresenta os parâmetros das envoltórias da TRT, para faltas “terminais”, correspondentes a ensaios de corrente de curto-circuito simétrico com 10, 30, 60 e 100% da corrente de interrupção nominal de curto-circuito simétrica do disjuntor. Para disjuntores com tensão superior a 72,5kV, as envoltórias da TRT para ensaios entre 10% e 30% são descritas por meio de envoltórias de dois parâmetros, e, para os acima de 30%, descritas pelas de quatro parâmetros.

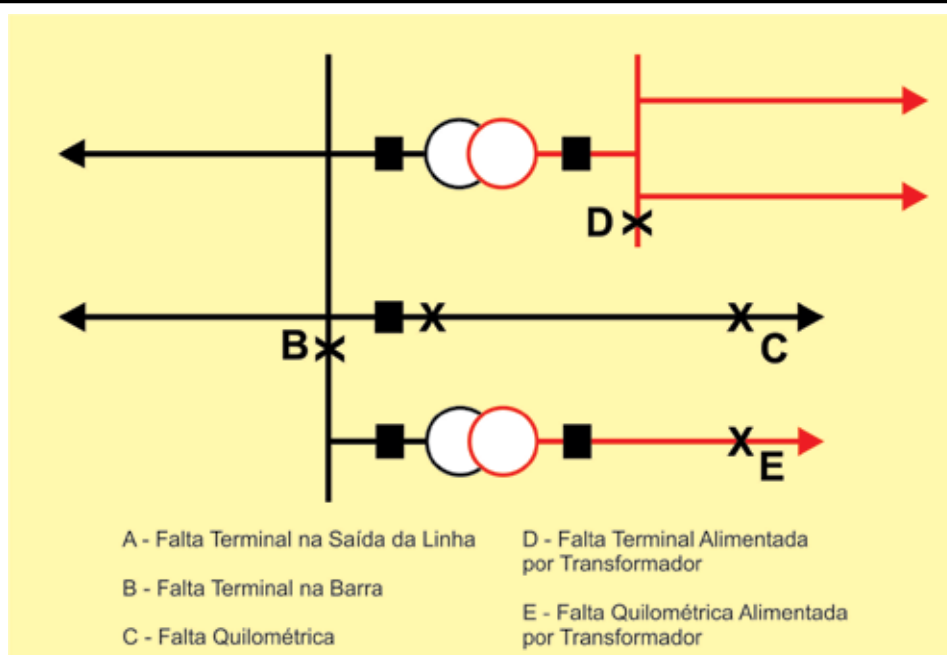
Nas tabelas da norma, os parâmetros que definem as envoltórias podem ser identificados da seguinte maneira: quando definida por dois parâmetros em valores ( $u_1$  e  $t_1$ ) e quando por quatro

parâmetros em valores ( $u_1$ ,  $t_1$ ,  $u_c$ ,  $t_2$ ), sendo ( $u_c$ ) o valor da crista da TRT.

Para a especificação do disjuntor, é necessária a determinação dos valores da TRT por meio de acurados estudos, devendo-se levar em consideração as seguintes condições mais críticas de aberturas, que, em função do ponto de aplicação do disjuntor, necessitam ser consideradas na sua totalidade ou parcialmente:

- Falta terminal: deve ser aplicada no barramento e na saída da linha, representando a condição com característica de maior TRT após a interrupção da falta;
- Falta quilométrica: condição com característica de maior solicitação para o disjuntor no início da TRT;
- Abertura de linha de transmissão em vazio, cabos ou banco de capacitores;
- Abertura em oposição de fases.

**Figura 3.10. Exemplo de Pontos de Aplicação das Faltas para Estudos de TRT.**



Para o caso da falta quilométrica, a norma ABNT NBR IEC 62271-100:2006 apresenta, também no seu anexo A, o roteiro de cálculo das envoltórias complementares, considerando o lado da fonte e o lado da linha, com a determinação da distância para aplicação de falta monofásica.

No desenvolvimento do estudo de TRT, os dois parâmetros a seguir relacionados, que caracterizam o fenômeno, devem ser observados e comparados aos valores normalizados, para concluir se o disjuntor está adequado ou não para a manobra:

- Taxa de crescimento da tensão transitória (TCTRT), em (kV/ $\mu$ s);
- Valor de pico da onda da TRT, em (kV).

Como tendência geral a ser considerada nas análises, pode-se afirmar que a falta terminal resulta em valores sempre mais críticos para o pico da TRT, enquanto a falta quilométrica resulta em valores mais severos para TCTRT.

Diversos fatores contribuem para agravar ou atenuar a severidade da TRT, conforme relatado nas referências [5.3] e [5.4]. Uma delas é a influência das capacitâncias e indutâncias a montante do ponto de manobra, a qual pode ser associada à frequência natural de oscilação da TRT do circuito formado pela rede e componentes da subestação, ( $\omega_0 = 1/\sqrt{L.C}$ ). A frequência natural de oscilação é proporcional a TCTRT: quanto maior a frequência natural de oscilação, mais rápido será o crescimento da tensão (TCTRT).

A observação acima permite concluir que a elevação da potência de curto-circuito, traduzida como redução da indutância (L), resulta em redução da TCTRT e aumento da crista da TRT. A representação das capacitâncias parasitas associadas a barramentos, a equipamentos da subestação e a banco de capacitores em derivação, caso existentes na barra do disjuntor, também contribui para elevar o valor da capacitância (C) e, com isso, atenuar a TCTRT.

Dada a complexidade exigida na modelagem da rede, o cálculo da TRT deve ser realizado por ferramenta de simulação digital, como o programa ATP, devendo-se considerar as diretrizes estabelecidas no item 3.2.2 do presente documento, sobre a modelagem da rede e, adicionalmente, a representação das capacitâncias parasitas de barramentos e demais equipamentos da subestação.

No caso do disjuntor que manobra o transformador que alimenta a corrente de curto-circuito passante, a modelagem atualmente disponível e adotada nas simulações com o ATP para o estudo da TRT não representa com fidelidade a resposta em frequência do transformador. Isto acarreta distorções severas nos resultados, conforme referência [5.8].

Na etapa de projeto básico, não estão disponíveis as informações necessárias a uma modelagem mais precisa do fenômeno em foco. Em tais condições, a realização do estudo da TRT com utilização da modelagem convencional no ATP torna-se questionável. Modelagens desse tipo poderão ser realizadas a partir de informação do fabricante do transformador já adquirido e testado. Esse tema tem sido assunto de discussão em grupos de estudo da Cigré, com a participação de fabricantes de equipamentos. Não existe ainda consenso quanto a uma modelagem genérica de transformadores aplicável a esse caso específico.

### 3.2.10.2. Diretrizes para a Realização dos Estudos de Tensão de Restabelecimento Transitório

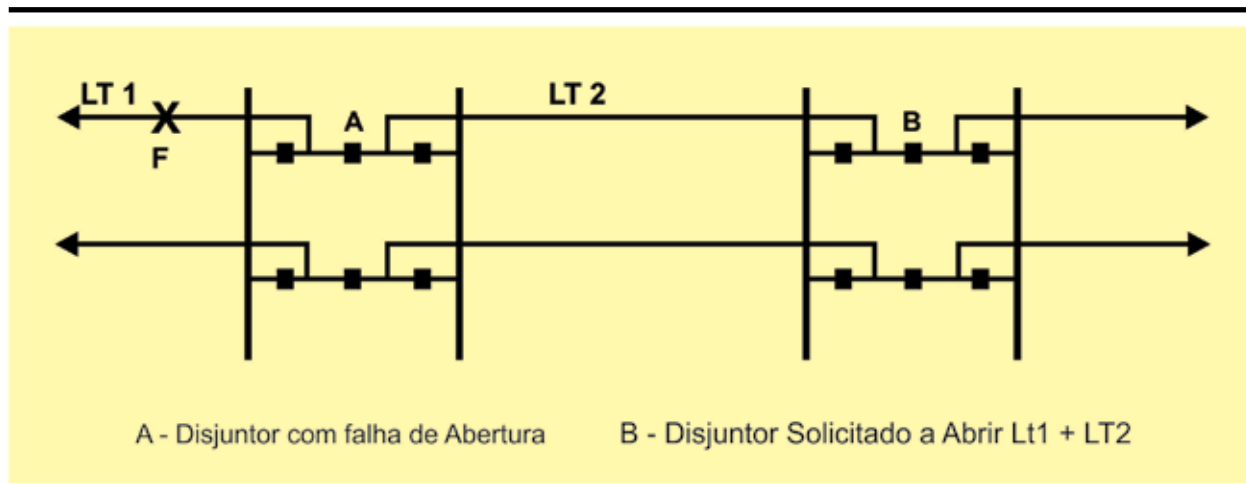
- Deverão ser simuladas no programa ATP, no mínimo, as faltas (tipo/localização) mencionadas no Anexo Técnico do empreendimento. Em princípio, devem ser avaliadas

faltas aplicadas em ambos os lados do disjuntor.

- A tensão de pré-manobra precisa ser ajustada igual à máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, de acordo com a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.
- A norma de referência é a NBR 62271-100, que considera em suas envoltórias um fator de 1º polo de 1,3. Caso sejam superadas, pode tornar-se necessário especificar disjuntores de fator de 1º polo 1,5. Neste caso, as características de TRT devem ser corrigidas para a nova condição, multiplicando-se os valores de  $u_1$ ,  $u_3$  e  $u_c$  pela relação 1,5/1,3.
- Disjuntores não classificam as faltas que interrompem segundo a organização da norma. Eles percebem apenas uma combinação de taxa de crescimento com valor máximo de TRT. Por exemplo: nem todas as faltas simuladas como quilométricas se comportam como tal. Sendo assim, discernimento, conhecimento do fenômeno e prática da boa engenharia são fundamentais para que se obtenham especificações realistas.
- Não serão consideradas simulações simplificadas em ferramentas alternativas, para efeito de projeto básico.
- Justificativas, desde que tecnicamente embasadas, poderão ser apresentadas para a não simulação de algum tipo de defeito. É prerrogativa do ONS aceitar ou não a justificativa apresentada.
- Abertura de defeito terminal
  - Devem ser adotadas as envoltórias da ABNT NBR IEC 62271-100, assim como os parâmetros pico da TRT e TCTRT das Tabelas 14a e 14b, em função da classe de tensão e da característica de aterramento do sistema. Deve-se considerar o percentual da corrente imediatamente superior ao maior valor de corrente de defeito que circula pelo disjuntor, conforme verificado nas simulações com o ATP, observando-se cada uma das três fases.
  - A título de exemplo, para um disjuntor com capacidade nominal de interrupção de curto-circuito igual a 40 kA e valor máximo da corrente de curto-circuito passante de  $7,5K A_{eficaz}$ , cerca de 18,75 % da sua capacidade nominal resulta na aplicação da envoltória normalizada de 30% e fator de 1º polo 1,3.
- Abertura de defeito quilométrico
  - Para o cálculo da abertura da falta quilométrica nas proximidades da subestação, é necessário considerar a aplicação de curto-circuito monofásico, com as distâncias de aplicação da falta definidas de acordo com metodologia de cálculo do Anexo A da norma ABNT NBR IEC 62271-100.

- Deve-se adotar, para a taxa de crescimento e para o valor máximo da oscilação do lado linha (onda dente de serra), aquela calculada de acordo com a metodologia do Anexo A da referida norma.
  - Pode ser levada em consideração, caso seja necessário, a representação das capacitâncias parasitas dos barramentos e de equipamentos existentes na subestação, em parâmetros concentrados. As referências [5.7 e 5.13] apresentam valores típicos que podem ser adotados como referência para as capacitâncias dos elementos da subestação.
  - Deve-se adotar, para o valor de pico da TRT, a envoltória da norma ABNT NBR IEC 62271-100, Tabelas 1a, 1b, 1c e 1d, para a correspondente classe de tensão e característica de aterramento do sistema.
- Abertura de linha a vazio
    - Deve ser simulada a abertura em vazio a 60 Hz, com aplicação de falta monofásica na fase A (falha da abertura da fase em falta pelo disjuntor adjacente, com transferência do disparo para o terminal oposto, onde as fases B e C operarão a abertura em vazio) e sem a aplicação de falta (abertura do terminal emissor de linha em vazio).
    - Caso a região do sistema onde o disjuntor for instalado esteja sujeita a sobrefrequências em regime dinâmico, a simulação deve levar em conta a máxima sobrefrequência identificada nestes estudos.
    - Deve ser considerada a possibilidade de manobra da linha de transmissão em conjunto com o(s) equipamento(s)/linha(s) de transmissão conectados a ela em subestações adjacentes. Esse evento é possível, por exemplo, em caso de falta no equipamento/linha de transmissão da subestação adjacente, seguido de falha do respectivo disjuntor, com configuração de barra do tipo disjuntor e meio, e com linhas de transmissão que compartilham o mesmo vão. A Figura 3.11 ilustra esta condição.
    - A envoltória normalizada da TRT será obtida a partir das recomendações de ensaios que constam da cláusula 6.111.7 e Tabela 20 da norma ABNT NBR IEC 62271-100.
    - A condição de interrupção de correntes capacitivas (em condição de regime permanente) também deve ser avaliada a partir da simulação do ATP. Caso sejam superiores à capacidade nominal de manobra de correntes capacitivas — estabelecida na Tabela 5 da norma ABNT NBR IEC 62271-100 —, o fabricante deverá ser consultado.

**Figura 3.11. Exemplo de Manobra de Abertura de Duas LTS em Série Sob Condição de Falha de Abertura de Disjuntor de SE Adjacente**



- Abertura em oposição de fases
  - A especificação da capacidade de abertura em oposição de fases para os disjuntores, requisito sempre exigido nos leilões de transmissão, resulta numa suportabilidade a um valor de TRT máximo maior, desde que as condições de taxa de crescimento da TRT se comportem dentro de limites estabelecidos para este tipo de abertura.
  - Entretanto, este valor de TRT não necessariamente corresponde à defasagem angular de  $180^\circ$  no ponto de operação do disjuntor. Por este motivo, deve ser identificada a solicitação mais crítica de tensão aos polos do disjuntor imposta pela rede, para a abertura em discordância de fases, na condição sem falta aplicada.
  - Do ponto de vista da rede, nem sempre é possível alcançar tal defasagem ( $180^\circ$ ) na abertura. Por exemplo: disjuntores localizados em linhas que possuam mais de uma linha em paralelo, ou disjuntores localizados em sistemas muito malhados, onde a separação angular só ocorreria numa contingência múltipla de ordem elevada.
  - Deve ser simulada com o programa ATP a imposição da condição sistêmica máxima de discordância de fases possível de ser simulada no ATP entre os terminais abertos do disjuntor.
  - Em função do resultado encontrado, caso ocorra a ultrapassagem da envoltória normalizada do disjuntor, deve-se identificar o máximo ângulo de defasagem em que a característica normalizada de TRT garante a abertura.
  - Neste caso, para ângulos no segundo quadrante, dinamicamente improváveis, mesmo durante um processo de desmonte do sistema se pode avaliar a possibilidade de adoção de lógica de proteção que obrigue a abertura do disjuntor para ângulos

inferiores ao limite estabelecido nas simulações. Não há necessidade de aquisição de equipamentos especiais.

- Caso sejam identificadas limitações para defasagens angulares baixas, que possam comprometer o desempenho dinâmico do sistema, restam as seguintes alternativas:

- ◊ Avaliar se a adoção de disjuntores de maior capacidade ou classe de tensão permite garantir a abertura para ângulos de discordância de fases suficientemente maiores;
- ◊ Avaliar se, com o refinamento da modelagem, ao identificar-se mais precisamente as tensões pré-abertura ( $t_{0-}$ ) — por exemplo, por meio de programas de estabilidade transitória, reproduzindo-a no ATP —, é possível operar a abertura;
- ◊ Comprovar a impossibilidade de ocorrer a sequência de eventos que levaria a este tipo de abertura.

- Na avaliação da TRT para a abertura em oposição de fases, deve-se adotar a envoltória da ABNT NBR IEC 62271-100, considerando-se os valores das Tabelas 1a, 1b, 1c e 1d, da correspondente classe de tensão e característica de aterramento do sistema.

### 3.2.10.3. Desenvolvimento das Simulações e Análises

O desenvolvimento das simulações e análises para o estudo da TRT consiste, basicamente, na obtenção dos valores dos picos das TRTs e das TCTRTs para as condições de aberturas de falta terminal, falta quilométrica, abertura de linha a vazio e abertura em oposição de fases, assim como de sua comparação com as envoltórias padronizadas de acordo com a norma de disjuntores ABNT NBR IEC 62271-100, atualmente em vigor no Brasil.

As simulações devem ser realizadas de maneira determinística, merecendo atenção especial a escolha do passo de integração e o tempo máximo da simulação, conforme recomendação do item 3.2.2.3 do presente documento.

É imprescindível, para a análise das formas de onda das tensões transitórias de restabelecimento dos disjuntores, a visualização e impressão dos gráficos com os valores dos picos da TRT, dos tempos de ocorrência, da TCTRT, juntamente com as envoltórias normalizadas. Sobre essa aplicação, podem ser indicados alguns trabalhos publicados, conforme relacionados nas referências [5.8], [5.9] e [5.10].

#### 3.2.10.4. Apresentação dos Resultados

Os resultados das simulações devem ser apresentados em tabelas e gráficos com as formas de onda das TRTs e das envoltórias normalizadas.

A apresentação dos resultados será precedida da informação dos parâmetros das envoltórias escolhidas como referência para a verificação da adequação do disjuntor. Deve ser identificada a norma, relacionando-se os parâmetros das envoltórias para as condições de abertura de falta terminal, falta quilométrica, abertura de linha a vazio e abertura em oposição de fase. Destaque-se também o fator de primeiro polo referente às envoltórias.

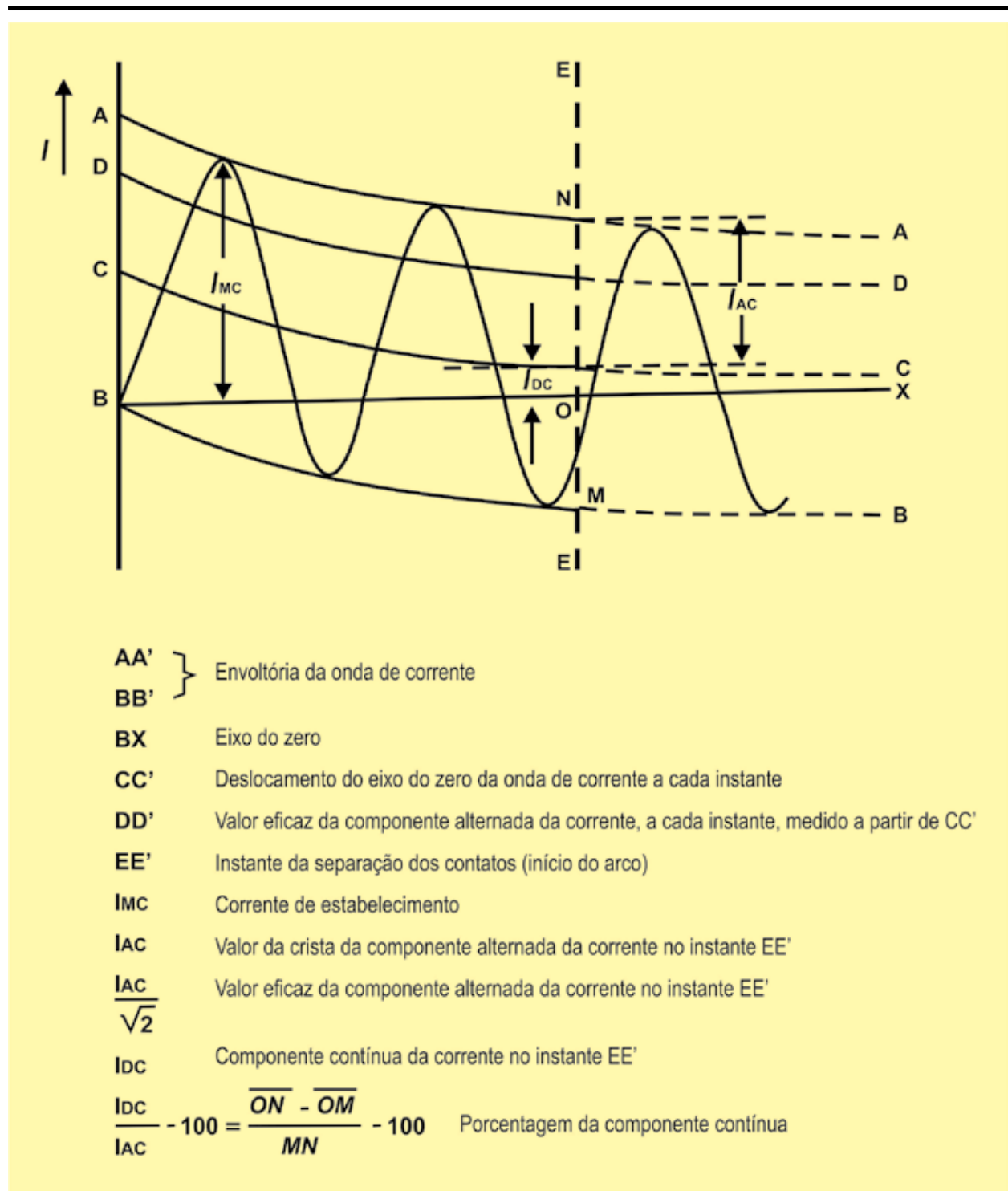
O item 8.7 apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de TRT com exemplos de tabelas e gráficos para a apresentação dos resultados e das envoltórias padronizadas.

#### 3.2.11. Assimetria das Correntes de Curto-circuito

O cálculo da assimetria das correntes de curto-circuito visa a subsidiar tanto a definição da capacidade de estabelecimento nominal em curto-circuito dos disjuntores, como a corrente suportável nominal em curto-circuito dos equipamentos.

A norma de disjuntores ABNT NBR IEC 62271-100 apresenta, na seção 4.101, a definição da capacidade de interrupção nominal em curto-circuito ( $I_{sc}$ ) de disjuntores, caracterizada por dois valores: o valor eficaz de sua componente c.a e a porcentagem da componente c.c. A Figura 3.12 apresenta a forma de onda da corrente de curto-circuito com a determinação das componentes c.a e c.c, conforme reproduzida a seguir.

Figura 3.12. Determinação das Componentes c.a e c.c – Isc de Disjuntores. Fonte: ABNT NBR IEC 62271-100, Figura 8.



A componente c.a, ou componente periódica, Ica (KAeficaz), imposta pelo sistema, é calculada por programas de curto-circuito, como o ANAFAS, adotando-se como referência as bases de dados do PAR-ONS correspondentes ao ano de entrada em operação do empreendimento.

De acordo com a subseção 4.101.1 da ABNT NBR IEC 62271-100, o valor normalizado da componente c.a da corrente de interrupção nominal em curto-circuito de um disjuntor deve ser

escolhido da série R10 da IEC 60059. A série R10 compreende os números 1 – 1,25 – 1,6 – 2 – 2,5 – 3,15 – 4 – 5 – 6,3 – 8 e seus produtos por 10n. Essa padronização resulta em valores como, por exemplo, 31,5kA, 40kA, 63kA, usualmente adotados para a capacidade nominal de curto-circuito dos equipamentos das instalações da Rede Básica.

A componente c.c da corrente de interrupção nominal em curto-circuito, ou componente aperiódica, varia no tempo e pode ser dada pela exponencial, conforme referência [5.2]:

$I_{cc}(\%) = e^{-t/\tau} \times 100$ , onde:

t = tempo contado a partir da falta.

$\tau$  = constante de tempo (ms) do circuito visto do disjuntor, dada em função da relação;

$\tau = X/R = (1/\omega) \times (X/R) \times 1000$  ms.

Para curtos trifásicos  $X/R = X1/R1$ , para monofásicos  $X/R = (2X1 + X0)/(2R1 + R0)$ .

A capacidade de estabelecimento nominal em curto-circuito é o maior valor instantâneo de corrente que um disjuntor é capaz de estabelecer (fechar), com tensão e frequência nominal. Corresponde ao primeiro pico da corrente após a falta, conforme mostrado na Figura 3.12, e pode ser calculado, conforme estabelecido na referência [5.2]:

$I_{f\max} = I_{ca} (K A_{eficaz}) \times f_a$ , sendo  $f_a = \sqrt{2} (1 + e^{-t/\tau})$ ;  $f$  corresponde ao fator de assimetria.

O tempo t deve ser tomado igual a 8,33 ms (1/2 ciclo), considerado menor tempo de atuação da proteção, conforme recomendação da norma.

A seção 4.103 da ABNT NBR IEC 62271-100 normatiza a capacidade de estabelecimento nominal em curto-circuito de um disjuntor como sendo igual a 2,6 vezes o valor eficaz da componente c.a da sua corrente de interrupção nominal em curto-circuito, para a frequência de 60Hz e uma constante de tempo da rede de 45ms.

A norma apresenta alternativamente constantes de tempo superiores ao citado, cobrindo requisitos especiais, conforme referenciado em seu item 4.10.1.2.

Deve-se, portanto, efetuar o cálculo do fator de assimetria, considerando-se a relação X/R do sistema, obtida a partir do estudo de curto-circuito simétrico no ponto de aplicação do disjuntor.

O valor normalizado ( $f_a = 2,6$ ) somente deve ser adotado na especificação do disjuntor quando for igual ou inferior ao valor calculado. Os valores de X/R, constante de tempo  $\tau$  (ms) e o fator de assimetria calculados devem ser fornecidos para efeito da especificação dos equipamentos.

O cálculo da assimetria da corrente de curto-circuito deve ser apresentado, preferencialmente, no relatório do estudo da tensão de restabelecimento transitória, no qual são definidos os demais requisitos para os disjuntores.

Ressalta-se que a assimetria de corrente se aplica também a especificação das chaves seccionadoras,

em série com os disjuntores, pois as mesmas ficarão sujeitas aos esforços eletromecânicos, mesmo que somente por alguns milissegundos, em posição fechada advinda da aplicação da máxima corrente assimétrica à qual ficará sujeita.

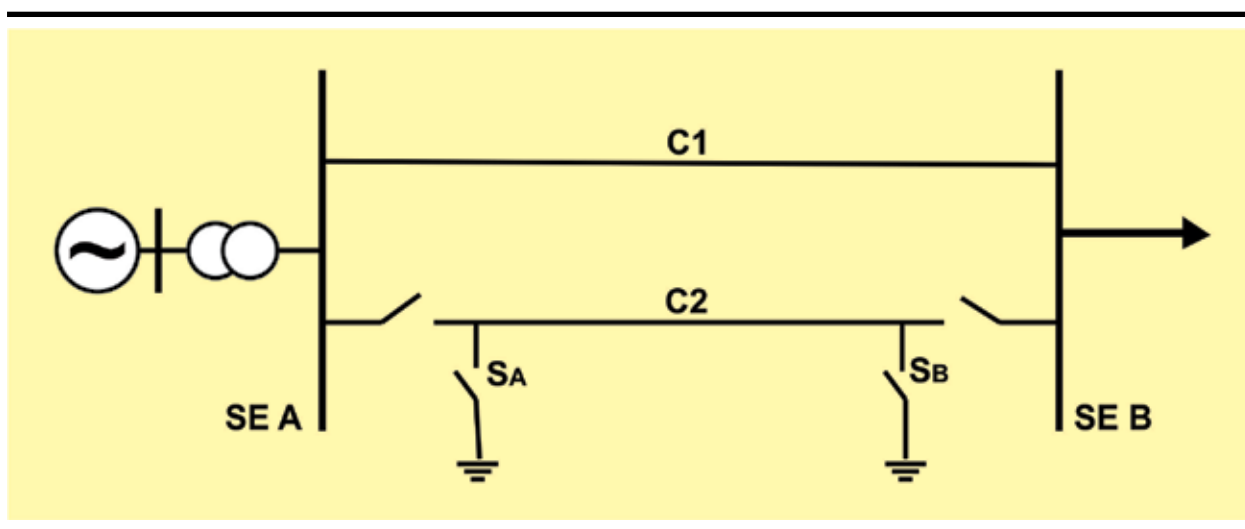
### 3.2.12. Tensões e Correntes Induzidas em Lâminas de Terra de Seccionadoras

Este estudo objetiva calcular os valores das correntes e tensões induzidas em lâminas de terra das seccionadoras instaladas nos terminais das linhas de transmissão, na realização das manobras de fechamento e abertura destas. Aqui, consideram-se as condições mais severas dos acoplamentos existentes entre circuitos em paralelos e de carregamentos máximos, tendo em vista o seu dimensionamento na etapa de projeto básico da instalação.

#### 3.2.12.1. Aspectos Gerais

Na existência de linhas de transmissão que correm em paralelo compartilhando a mesma faixa de servidão, ou de linhas em circuito duplo, na condição de um deles estar com carga e outro desligado e aterrado em seus dois terminais, como ocorre durante as intervenções para manutenção em linhas de transmissão, podem surgir correntes e tensões elevadas no circuito desenergizado, devido ao acoplamento eletromagnético e eletrostático entre os dois circuitos. Nesta condição, ao realizar-se a manobra de abertura das chaves de aterramento, podem surgir solicitações severas de correntes a ser interrompidas e de tensão de restabelecimento transitória de abertura.

**Figura: 3.13. Correntes e Tensões Induzidas por Acoplamento Eletromagnético em Lâminas de Terra de Chaves Seccionadoras.**



Consideram-se como condição inicial de operação as duas lâminas de terra fechadas em ambos os terminais (SE A e SE B) do circuito C2, isolado para manutenção. No restabelecimento do circuito C2, é necessário abrir uma chave de cada vez. Sendo a chave  $S_A$  a primeira a abrir, ela

irá interromper um valor elevado de corrente induzida com tensão de restabelecimento em seus contatos de pequeno valor, já que o outro terminal se encontra aterrado com tensão nula.

Na abertura da chave SB da outra extremidade da linha, ainda existe corrente, porém de pequeno valor, pois, com o outro terminal já desaterrado, o caminho que resulta para a corrente é devido às capacitâncias parasitas entre fases e terra da linha. Todavia, a tensão a ser estabelecida pelos contatos da lâmina de terra será elevada, em função de o circuito C2 não estar mais aterrado em nenhum dos seus terminais.

A primeira lâmina de terra a abrir  $S_A$  é caracterizada por corrente e tensão induzidas, devido ao acoplamento eletromagnético; e a segunda SB, por acoplamento eletrostático. As lâminas de terra devem, portanto, ser dimensionadas para suportar a imposição de ambas as condições apresentadas. A referência [5.3] apresenta de maneira detalhada a análise dessa condição da manobra de chaves seccionadoras.

A norma ABNT NBR IEC 62271-10, referente a seccionadoras e a chaves de aterramento, apresenta em seu Anexo C, Tabela C.1, os valores nominais de correntes e tensões induzidas para chaves de aterramento em função da classe de tensão. Naquela Tabela são apresentados os limites normalizados para as correntes e tensões induzidas por acoplamento eletromagnético e eletrostático, dividido em duas classes: classe A – baixo acoplamento ou para linhas paralelas relativamente curtas; e classe B – alto acoplamento ou para linhas paralelas relativamente longas.

Na mesma norma, na Tabela C2 do Anexo C, são apresentados os valores normalizados das tensões de restabelecimento para os ensaios de interrupção de correntes induzidas eletromagneticamente, que também são observados como requisito para as lâminas de terra.

### 3.2.12.2. Diretrizes para os Estudos de Correntes e Tensões Induzidas em Lâminas de Terra

Este estudo se aplica toda vez que existirem linhas de transmissão que corram em paralelo, dividindo a mesma faixa de servidão ou de linhas em circuito duplo.

Na modelagem da linha de transmissão para a simulação com o programa ATP, devem-se levar em consideração todos os acoplamentos eletrostáticos e eletromagnéticos presentes entre fases e entre circuitos. Também é necessário representar o esquema de transposição das linhas de transmissão, quando for empregado.

A representação das linhas de transmissão na base de dados do ATP deve ser feita pela sua matriz de transformação modal, obtida com o processamento da rotina Line Constant do programa ATP, levando-se em consideração os dados de projeto das linhas (geometria torre típica, características do cabo fase, cabos para-raios e flechas). No item 0 – Anexo C do presente documento, é apresentado

um exemplo desse tipo de modelagem requerida.

### 3.2.12.3. Premissas para Ajuste dos Casos ATP

As correntes e tensões induzidas em lâminas de terra das seccionadoras são mais severas sob condição de maior carregamento do circuito que permanece energizado, acoplado ao circuito desenergizado e aterrado.

A tensão de pré-manobra deve ajustar-se de forma idêntica à máxima tensão operativa em correspondência à classe de tensão da rede, conforme a Tabela 1 do item 5.3.1.2 dos Procedimentos de Rede do ONS.

### 3.2.12.4. Desenvolvimento das Simulações e Análises

A obtenção das correntes e tensões induzidas, com a utilização do programa ATP, deve ser realizada sob condição de regime permanente, sem falta aplicada, observando-se a corrente e a tensão induzidas do circuito C1 sobre C2, com o carregamento de C1 ajustado o mais próximo possível da condição de longa duração da linha de transmissão. O circuito C2 deve estar aberto e aterrado pelas lâminas de terra de seus dois terminais, conforme Figura 3.13.

A corrente induzida por acoplamento eletromagnético é a corrente que circula de C2 para terra, com as chaves de ambos os terminais de C2 fechadas (linha aterrada). Ao abrir uma das chaves, a tensão induzida por acoplamento eletromagnético é a que surge no terminal da chave aberta.

A corrente induzida por acoplamento eletrostático de C1 sobre C2 aterrado em seus dois terminais deve ser obtida com C1 energizado, mas sem carga. A tensão induzida por acoplamento eletrostático é a que resulta em C2 nessa condição, mas com as duas lâminas de terra abertas, isto é, C2 desaterrado em ambos os terminais.

Os valores obtidos com o procedimento acima devem ser comparados aos valores da Tabela C.1 do Anexo C da norma ABNT NBR IEC 62271-102, para a especificação da classe de acoplamento das lâminas de terra dada em função da tensão nominal (classe A – baixo acoplamento; ou classe B – alto acoplamento).

Em especificações de lâminas de terra para instalações da Rede Básica, tem-se observado, com certa frequência, que os valores normalizados conforme a Tabela C.1 do Anexo C da norma ABNT NBR IEC 62271-102 se apresentam com pouca margem, e, em alguns casos, são insuficientes para atender às imposições mais severas de acoplamentos entre circuitos — mesmo considerando-se a classe B de alto grau de acoplamento. Neste caso, o recurso é adotar a especificação da lâmina de terra da classe de tensão imediatamente superior ou consultar o fabricante.

Complementarmente às avaliações das correntes e tensões induzidas por acoplamento eletrostático

e eletromagnético, deve-se verificar, também, o atendimento aos limites normalizados das tensões de restabelecimento para ensaios de interrupção de correntes induzidas eletromagneticamente, conforme a Tabela C.2 do Anexo C da norma ABNT NBR IEC 62271-102.

### 3.2.12.5. Apresentação dos Resultados

O resultado das simulações, conclusões e recomendações referente ao estudo das correntes e tensões induzidas em lâminas de terra das seccionadoras pode ser apresentado juntamente com os estudos de TRT e no mesmo relatório. O item 8.7 deste documento apresenta sugestões de tabelas para a apresentação dos resultados desse tipo estudo.

## 3.2.13. Estudo de Coordenação de Isolamento

Este estudo objetiva avaliar as sobretensões que atingem os equipamentos das entradas de linha e do interior das subestações, em função da ocorrência de descargas atmosféricas sobre as linhas de transmissão a elas conectadas. Como produto desta análise, são estabelecidos os níveis básicos de isolamento (NBI) a ser especificados para os equipamentos da subestação, bem como as características nominais dos para-raios e recomendações quanto à sua localização (distâncias dos equipamentos) na instalação.

### 3.2.13.1. Aspectos Gerais

As descargas atmosféricas que atingem as instalações de transmissão podem ser classificadas como diretas e indiretas:

- As descargas diretas são as que atingem diretamente os cabos fases das linhas de transmissão e se caracterizam por ser de amplitude mais baixa. As correntes associadas às descargas diretas podem ser calculadas em função da distância de incidência, geralmente obtida pelo modelo eletrogeométrico. A referência [5.4] apresenta a metodologia completa, com as equações para a determinação das correntes de descargas diretas, considerando-se o citado modelo.
- As descargas indiretas ocorrem quando os surtos atmosféricos atingem os cabos para-raios ou o topo da torre da linha de transmissão, provocando a sua elevação de potencial e resultando em descarga entre os condutores de uma fase da linha e a torre, através da cadeia de isoladores da linha. A tensão de crista das descargas indiretas é função da magnitude da corrente de descarga, da impedância de surto dos cabos para-raios, da impedância de surto da torre e da resistência do pé de torre. A tensão estabelecida pela cadeia de isoladores é função também do fator de acoplamento entre os cabos para-raios e os cabos fases. Dependendo do valor da tensão através da cadeia de isoladores, poderá

ocorrer a disrupção desta, e o surto atmosférico que se propagará nos cabos condutores terá amplitude máxima igual ao valor da suportabilidade da cadeia de isoladores. Neste caso, a frente de onda é bastante íngreme e sofre distorções até atingir a subestação.

O estudo de coordenação de isolamento, no caso de descargas atmosféricas em subestações, é desenvolvido de maneira determinística. A avaliação do nível das sobretensões na subestação, devido a descargas diretas e indiretas que incidem nas linhas de transmissão, leva em conta uma margem de segurança geralmente de 5% para isolamento auto-recuperante (isolamento no ar), e de 15% para os terminais de equipamentos da subestação. Estas margens de segurança referem-se à tensão suportável de impulso atmosférico normalizada, NBI ou BIL dos equipamentos, conforme recomendado pela norma de coordenação de isolamento [5.15]. As margens de segurança visam a compensar os aspectos do envelhecimento do isolamento durante o tempo de vida útil dos equipamentos, as diferenças de características de proteção dos para-raios e as aproximações consideradas nos dados e simulações.

As simulações de descargas atmosféricas precisam levar em consideração as piores condições de imposição de descargas atmosféricas na subestação, como a amplitude das correntes, os tempos de frentes de onda, a resistência de pé de torre mais elevada, a consideração da tensão de 60Hz pré-descarga e a configuração topológica da subestação. Geralmente, condições topológicas degradadas da subestação, com menor número de circuitos conectados, são as mais desfavoráveis. O surto de descarga atmosférica, ao atingir a subestação, sofre reflexões e flui pelos circuitos internos disponíveis da subestação, assim como retorna pelos circuitos externos (linhas conectadas). Desta forma, quanto maior o número de circuitos conectados à subestação e mais completa for a sua topologia, menores serão os níveis das sobretensões decorrentes das descargas atmosféricas.

A proteção contra surtos atmosféricos é obtida pelos para-raios e se relaciona com a distância dos equipamentos a ser protegidos. Em função das ondas incidentes e refletidas em pontos no interior de uma subestação, podem surgir sobretensões em patamares críticos, e, de maneira geral, quanto maior a distância entre os para-raios e os equipamentos, maiores serão as sobretensões incidentes sobre esses equipamentos.

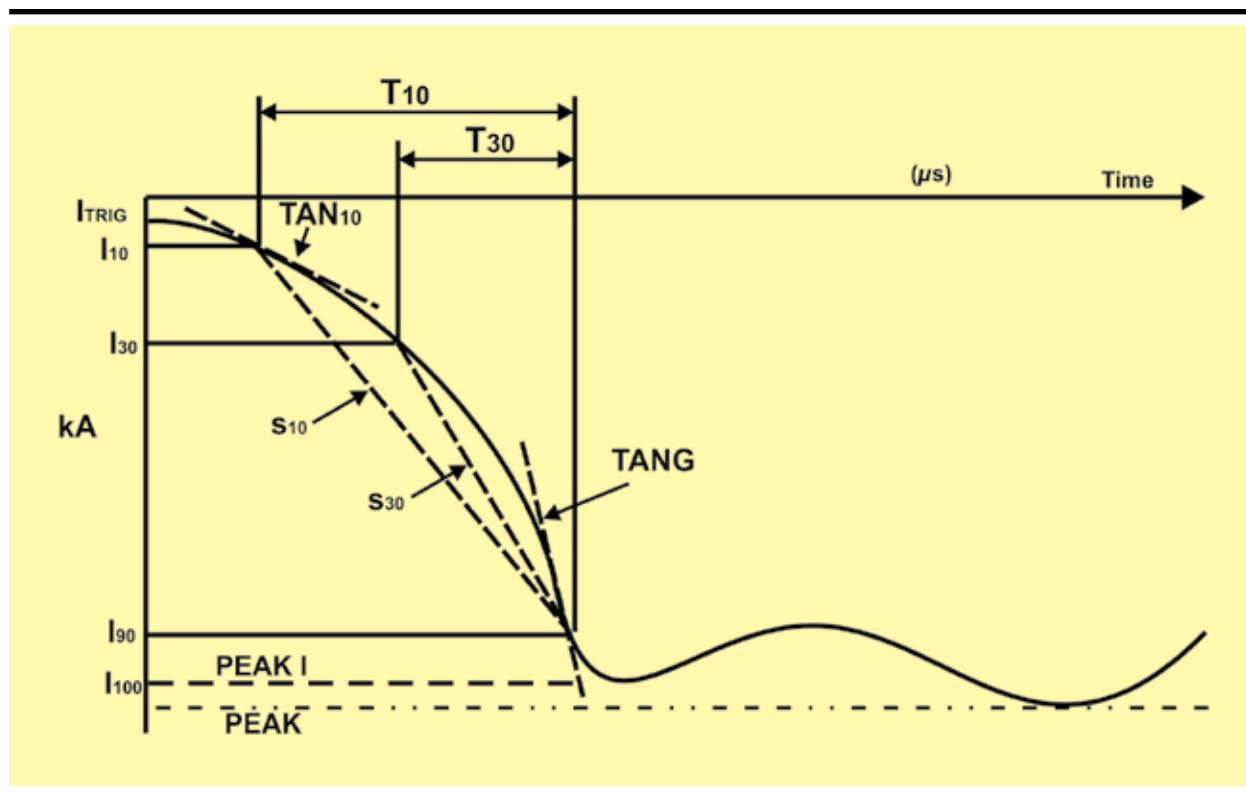
Os para-raios de entrada de linha de transmissão são particularmente importantes para a limitação dos surtos atmosféricos que trafegam no interior da instalação, pois os mesmos já limitam os surtos quando estes adentram a subestação.

O estudo de coordenação de isolamento para as subestações da Rede Básica deve ser realizado por simulação com programas digitais, como, por exemplo, o ATP, devendo-se levar em consideração, na modelagem, o detalhamento da configuração da subestação, com as distâncias, os parâmetros das linhas de transmissão, os cabos para-raios e demais equipamentos da subestação.

### 3.2.13.2. Modelagem do Surto Atmosférico

Fisicamente, o surto atmosférico é caracterizado por um impulso de corrente. Desta forma, a sua representação mais precisa é modelar o impulso de corrente no programa de simulação, de acordo com as características de forma e amplitude, descritas em referências técnicas reconhecidas internacionalmente [5.16, 5.17 e 5.18]. Tal modelagem precisa ser muito criteriosa, pois a forma e a amplitude do surto de corrente têm grande influência no nível das sobretensões atmosféricas que se propagam na subestação. A Figura 3.14 apresenta a forma de onda típica para o surto de corrente de uma descarga atmosférica. A adoção deste tipo de modelagem requer a seleção do valor máximo de corrente de descarga atmosférica representativa para a região em questão. Este valor deve ser implementado na modelagem adotada para o surto de corrente, cuja forma deve preferencialmente seguir as recomendações da referência [5.16], ou outra reconhecida internacionalmente.

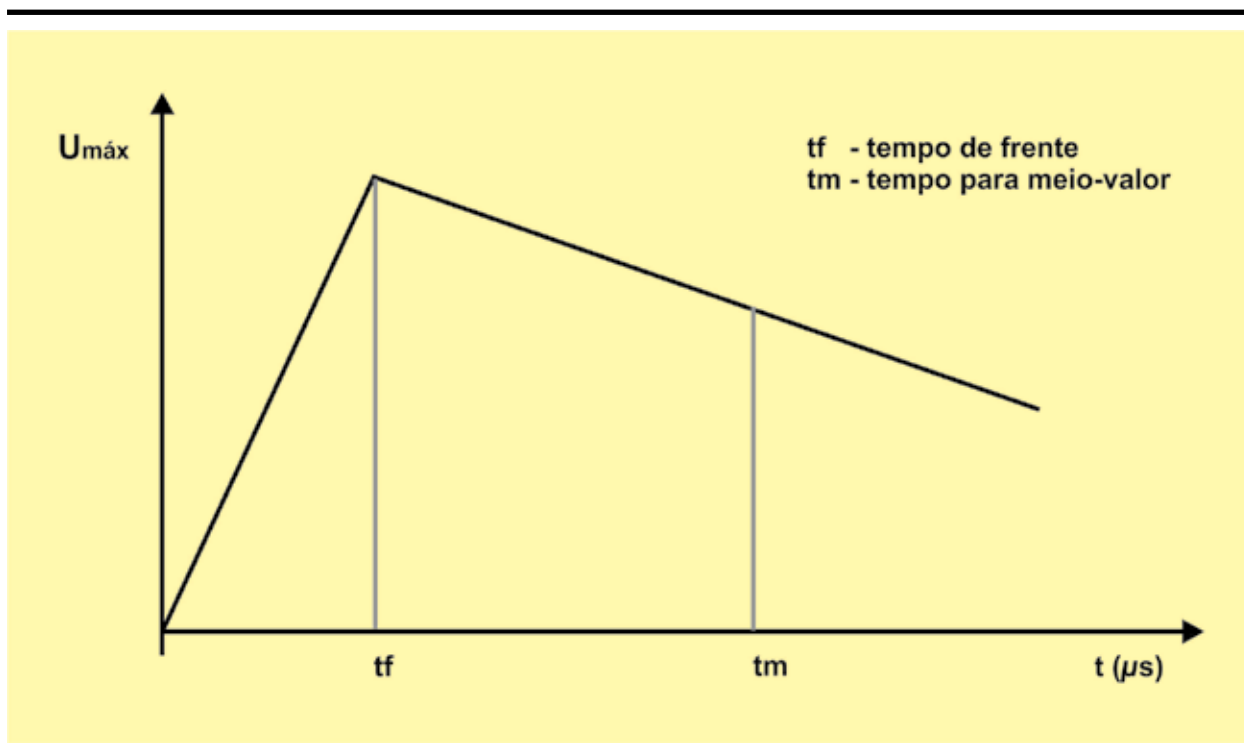
Figura 3.14. Exemplo de Onda Típica do Surto de Corrente de uma Descarga Atmosférica [5.16]



A simplificação geralmente aceita na engenharia de subestações é a adoção de um surto de tensão que represente a onda de corrente propagável para o interior da subestação, devido ao surto atmosférico que atinge a linha de transmissão. Quando o surto de corrente se propaga pela linha, uma onda de tensão se dirige à subestação [5.3], onde  $Z_c$  é a impedância de surto de sequência positiva da linha. Tal onda é representada na Figura 3.15 e corresponde à onda típica de surto atmosférico considerada nas normas de ensaios de equipamentos [5.15]. Para simulações de descarga direta por injeção de surto de tensão, os valores adotados de tempo de frente ( $t_f$ ) e de tempo de cauda ( $t_m$ ) são de 1  $\mu s$  e 50  $\mu s$ , respectivamente. Para descargas indiretas, os valores adotados são 0,5  $\mu s$  e 50  $\mu s$ .

- A determinação do valor de crista para as descargas simuladas por surto de tensão deve seguir os seguintes critérios:
- Para descargas diretas, a amplitude da tensão de surto é dada por  $U_c = I_{\text{surto}} / 2 \times Z_c$ , onde  $Z_c$  é a impedância de surto de sequência positiva da linha e  $I_{\text{surto}}$  é a crista do surto de corrente para descargas diretas determinada com auxílio do modelo eletrogeométrico;
- Para descargas indiretas, a amplitude da tensão é função da tensão de ruptura da cadeia de isoladores da linha de transmissão, ou seja,  $U_c = U_m \times (1 + 3.s)$ , onde  $U_m$  é o valor médio da tensão suportável para a cadeia de isoladores adotada na LT (geralmente obtida de catálogo de isoladores) e  $s$  é o desvio padrão para a suportabilidade de impulsos atmosféricos no ar (3% segundo a norma de coordenação de isolamento [5.15]).

Figura 3.15. Exemplo de Forma de Onda Típica da Descarga Atmosférica.



### 3.2.13.3. Diretrizes para o Estudo de Coordenação de Isolamento

O estudo deve ser desenvolvido em simulação determinística com programa de cálculo de transitórios eletromagnéticos, adotando-se, por exemplo, o programa ATP, com a aplicação das seguintes diretrizes básicas:

- Considerar a incidência de descargas atmosféricas diretas e indiretas que atinjam as linhas de transmissão nas proximidades das subestações, assim como as magnitudes e formas de onda estabelecidas de acordo com as considerações do item 3.2.14.1 do presente documento;

- Considerar, na modelagem da subestação, as distâncias entre as conexões de equipamentos e barramentos, conforme propostas no projeto básico da subestação;
- Devem-se analisar as condições de subestação com topologia completa e algumas condições com topologia degradada; a escolha das topologias degradadas deve ter como objetivo a maximização das sobretensões no interior da subestação;
- As impedâncias de surto das linhas de transmissão conectadas à subestação, assim como as impedâncias de surto dos barramentos da subestação, devem ser determinadas por rotina específica a este fim, como o Line Constants do ATP. Os cabos e feixes de condutores efetivamente utilizados no projeto precisam ser considerados na determinação das impedâncias de surto. É recomendável adotar-se a determinação das impedâncias de surto para a faixa de frequências compatível com aquelas verificadas para surtos atmosféricos. O valor de 1 MHz é comumente adotado;
- Caso se julgue conveniente, a linha de transmissão pode ter um modelo que leve em consideração a variação dos parâmetros com a frequências, como o modelo J. Marti do ATP. Este tipo de modelagem pode resolver problemas de sobretensões muito elevadas obtidas pela modelagem tradicional por impedância de surto, pois o modelo leva em conta a variação dos parâmetros com a frequência;
- Considerar a resistência de aterramento das torres, em caso de simulação de descarga indireta e com a modelagem do surto por onda de corrente. Para modelagem do surto por onda de tensão, não há necessidade de representação das torres;
- Considerar, na modelagem da subestação, a capacitância dos disjuntores, de chaves seccionadoras, dos transformadores de corrente e de potencial, das buchas de transformadores, coluna de isoladores, além da característica dos para-raios para surto atmosférico;
- Como critério para a avaliação dos resultados das sobretensões, deve estabelecer-se uma margem de segurança de 5% para isolamento auto-recuperante (isolamento no ar) e de 15% para os terminais de equipamentos da subestação com relação à tensão suportável normalizada de impulso atmosférico NBI ou BIL dos equipamentos e da instalação.

#### 3.2.13.4. Desenvolvimento das Simulações e Análises

As simulações devem resultar no mapeamento das sobretensões verificadas nos diversos pontos da subestação, barramentos e terminais dos equipamentos, no sentido de estabelecer os níveis de isolamento a ser especificados para os equipamentos da subestação, bem como as características nominais dos para-raios e recomendações quanto à localização (distâncias) dos equipamentos.

### 3.2.13.5. Apresentação dos Resultados

Os resultados das sobretensões aplicadas aos terminais dos diversos equipamentos e aos barramentos da subestação devem ser apresentados em tabelas e conter: o tipo da descarga (direta ou indireta); o local da sua aplicação; a configuração da subestação considerada na simulação; os valores das sobretensões máximas em (kVpico), verificadas em cada um dos equipamentos; e a indicação da Figura anexa ao relatório, incluindo a plotagem da forma de onda da sobretensão.

Devem-se também apresentar diagramas unifilares, plantas e cortes correspondentes à subestação, com indicação das distâncias associadas aos barramentos, equipamentos e para-raios.

O item 8.8 deste documento apresenta uma sugestão de itens a ser contemplados no relatório dos estudos de coordenação de isolamento, com exemplos e gráficos para apresentação desses resultados.

### 3.2.14. Estudos Associados à Compensação Estática Shunt (CER)

Os estudos associados à compensação estática shunt podem ser divididos em duas etapas.

Na primeira, são estabelecidas as condições de contorno sistêmicas visando a subsidiar o projeto do equipamento pelo fabricante. Esta fase deve ser desenvolvida pela Transmissora, conjuntamente com os estudos elétricos do projeto básico da instalação. Ela abrange todos os aspectos necessários a sua especificação.

Deve também ter como produto um documento de Especificação Básica do CER, que servirá como referência para a aquisição do equipamento. Este documento precisa conter, entre outras coisas, a configuração básica, as faixas de potência e de controle, as características de controle a ser atendidas, bem como os requisitos de desempenho harmônico a ser obedecidos e o lugar geométrico de impedâncias da rede a ser considerado no projeto dos filtros.

Por este motivo, nesta etapa deve ser realizada pela Transmissora a determinação das características de impedância harmônica, vista do ponto de acoplamento comum (PAC) da Rede Básica, no qual será instalado o compensador estático (CER).

A segunda etapa, a ser desenvolvida pelo fabricante, refere-se ao seu dimensionamento, a partir das características de contorno fornecidas na primeira etapa. O fabricante deve fornecer inclusive os modelos computacionais do CER, com base nas características e parâmetros finais do equipamento a ser utilizados em futuros estudos de sistema, com as ferramentas para estudos de fluxo de potência, transitórios eletromecânicos e de transitórios eletromagnéticos.

### 3.2.14.1. Condições de Contorno Sistêmicas para Especificação

O documento a ser produzido com a finalidade de subsidiar a especificação e o projeto do CER abrangerá os seguintes aspectos sistêmicos:

- Tensão de operação em regime permanente.

Devem ser fornecidas a tensão fase-fase da barra correspondente ao ponto de acoplamento comum e a sua faixa de controle contínua. Também é necessário informar o desbalanço máximo de sequência negativa  $V_2/V_1$ , conforme estabelecido no submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

- Frequência do sistema.

Devem ser fornecidas a faixa de variação da frequência em regime permanente, a faixa de variação transitória e a máxima taxa de variação da frequência do sistema no ponto de acoplamento comum. Estes requisitos devem atender aos requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital ou no submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

- Níveis de curto-circuito.

Deve ser fornecido o nível de curto-circuito, no ponto de acoplamento comum, considerando o sistema completo e degradado, no horizonte da operação (ano de entrada e 3 anos a frente) para efeito de definição do controle.

Deve ser fornecido o valor máximo de curto-circuito especificado no anexo técnico para efeito de dimensionamento dos equipamentos que fazem parte do CER.

- Tempos de eliminação de defeitos.

Devem ser informados, para efeito do projeto do CER, os tempos de eliminação de defeitos associados ao nível de tensão nominal do sistema no ponto de acoplamento comum, o qual deverá estar de acordo com o estabelecido no submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Adicionalmente, devem também ser incluídos neste documento os seguintes requisitos:

- Potências nominais contínuas e faixa de controle do CER;
- Potências nominais de curta duração – ciclo de sobrecarga indutiva, que deve ser estabelecida considerando-se a curva de sobretensões, englobando solicitações transitórias e temporárias no ponto de acoplamento comum;
- Configuração e tipo do compensador estático de reativos;
- Características e requisitos do controle e tempo de resposta, englobando também o sistema

de medição, sincronização e disparo da válvula de tiristores. Estes requisitos precisam atender às diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital;

- Perdas. Este requisito deve atender ao disposto no anexo técnico do edital;
- Coordenação de isolamento;
- Harmônicos. Este requisito merece destaque especial, devendo ser objeto de elaboração de estudo específico, com o cálculo das impedâncias harmônicas objetivando o dimensionamento dos filtros do CER.

#### 3.2.14.2. Impedâncias Harmônicas para Dimensionamento dos Filtros

Tendo em vista a avaliação do desempenho harmônico do CER e o dimensionamento dos filtros, deve ser determinado o envelope de impedância harmônica da rede CA externa ao CER, considerando os diversos cenários de evolução da rede ao longo do período de concessão do empreendimento, nos patamares de carga pesada, média e leve, com a rede completa e degradada e considerando também as configurações operativas do CER.

Os valores máximos e mínimos das impedâncias harmônicas em módulo e ângulo, vistas do ponto de acoplamento comum, para todas as condições estudadas conforme acima relacionadas, devem ser apresentados em forma de relatório e encaminhados ao fabricante, que, por sua vez, deverá considerar estes valores no dimensionamento dos filtros de harmônicos do CER.

Ressalta-se que deve ser especificada ao fabricante, claramente, a necessidade do atendimento a todo o envelope definido pelo lugar geométrico da rede, e não apenas aos pontos pertencentes à nuvem de pontos que dará origem ao envelope, pois fica nele contida. Este aspecto tem impacto nos custos e não deve deixar margem a dúvidas.

Para a determinação dos nominais dos filtros e limites de distorção harmônica, deve ser considerado o estabelecido no submódulo 2.8 dos Procedimentos de rede do ONS, referente aos limites globais e individuais de tensões harmônicas.

#### 3.2.14.3. Modelos do CER para Representação em Programas Computacionais

O fabricante do CER deve desenvolver os modelos computacionais a ser futuramente utilizados nos estudos pré-operacionais de sistemas, conforme exigência do anexo técnico do edital, para simulação com as seguintes ferramentas:

- Fluxo de potência – programa ANAREDE;
- Estudo de transitórios eletromecânicos – programa ANATEM;
- Estudo de transitórios eletromagnéticos – programa ATP.

### 3.2.15. Estudos Associados à Compensação Série

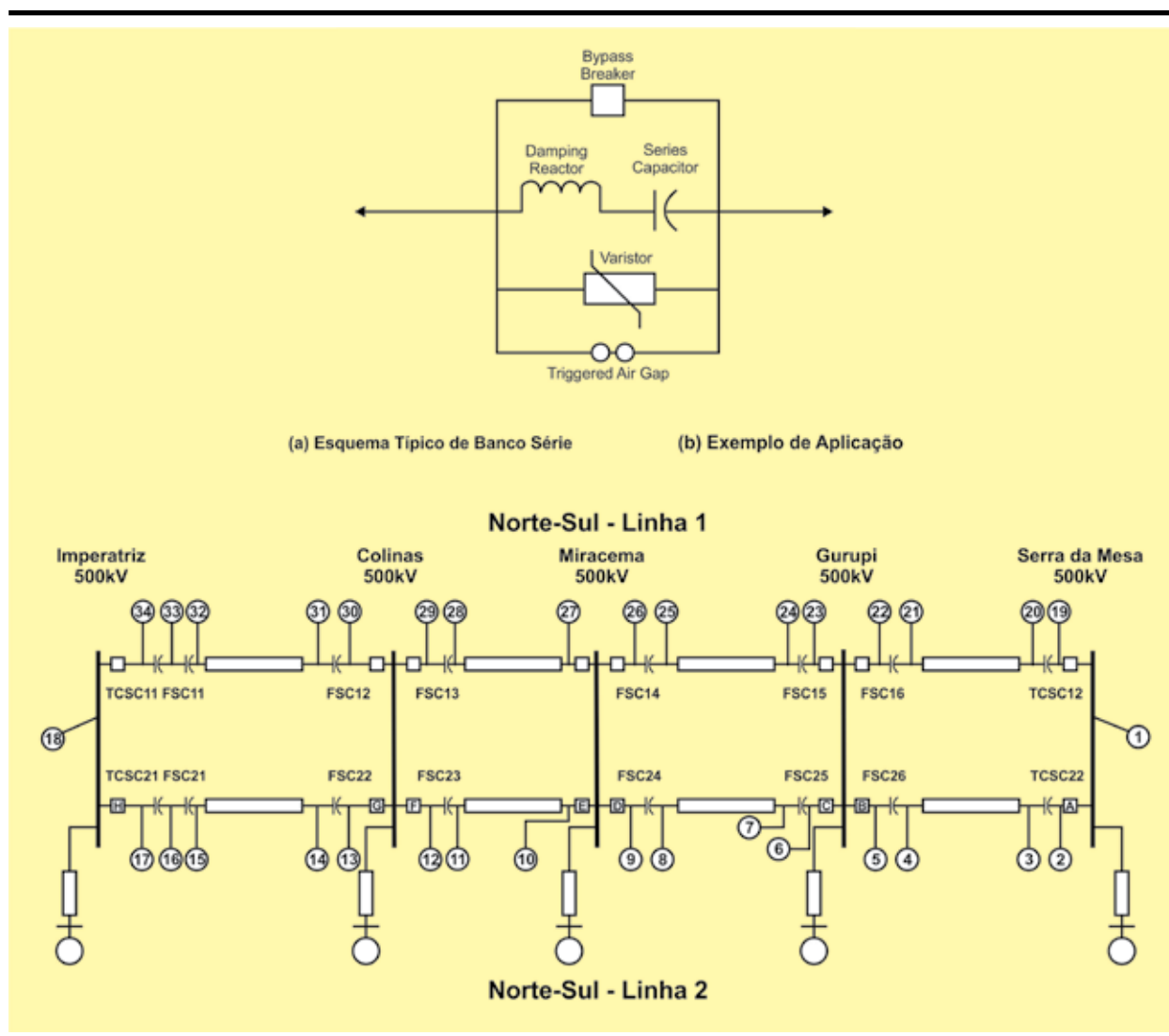
Os estudos associados à compensação série devem ser desenvolvidos em duas etapas. Na primeira delas pela Transmissora, com o objetivo de estabelecer os requisitos de cunho sistêmico necessários à sua especificação e à efetiva tomada de preços. Na segunda etapa, os estudos serão realizados pelo fabricante, visando ao seu dimensionamento e ao atendimento dos requisitos estabelecidos em sua especificação de compra.

#### 3.2.15.1. Bancos de Capacitores Série – Filosofia Básica

A reatância capacitiva total do banco, vista como elemento único, deve ser calculada com base no percentual de compensação da linha estabelecido no anexo técnico do edital e com base no comprimento da linha, resultante de seu projeto básico.

A Figura a seguir ilustra, de forma simplificada, um esquema de aplicação de bancos de capacitores série, em duas linhas em paralelo.

Figura 3.16. Esquema Típico de Banco Série e Exemplo de Disposição de Bancos Série em Circuitos em Paralelo.



Um esquema típico de um banco série, ilustrado na Figura 3.16, é composto pelo capacitor série propriamente dito, por uma indutância — que tem por finalidade amortecer a descarga dos capacitores (“damping reactor”) — e por um varistor em paralelo (MOV) com o conjunto capacitor/reator. Esse varistor tem por finalidade garantir que a tensão aplicada a este conjunto não exceda à capacidade especificada.

Em paralelo ao MOV, existe um GAP que pode ou não ser encapsulado e tem por finalidade proteger o varistor contra um excesso de absorção de energia, agindo no sentido de curto-circuitar o banco série “imediatamente”, caso necessário.

Em tese, o MOV começa a conduzir quando a tensão aplicada ao conjunto do banco série — a qual é função direta da corrente que por ele circula — atinge o patamar especificado para o nível protetivo dos varistores.

O circuito de by-pass deve ser dimensionado para suportar a descarga dos capacitores. O reator de amortecimento precisa ser dimensionado de tal forma que não ocorram ressonâncias entre ele e banco de capacitores para as frequências harmônicas mais usuais.

Alguns dos esquemas adotados preveem a adoção de resistores em série com um pequeno gap e este conjunto em paralelo com o reator de amortecimento. Este gap é projetado para suportar a tensão gerada para a operação em regime permanente e durante a operação em sobrecarga. Nos casos em que ocorrer o by-pass, por meio da atuação do gap principal, o resistor é inserido no circuito, garantindo o amortecimento.

Todos estes esquemas devem ser dimensionados considerando-se a possibilidade do religamento monopolar.

### 3.2.15.2. Aspectos Sistêmicos

Sob o ponto de vista da interação com o sistema elétrico, um aspecto relevante a ser considerado para os capacitores série se refere ao seu dimensionamento, de maneira a permanecerem em operação sem que haja absorção de energia por parte de seus MOVs durante oscilações de potência, em particular com relação às que ocorrem na primeira oscilação, “swing”, após a aplicação de uma perturbação na rede.

Neste sentido, na primeira etapa dos estudos a ser encaminhados ao fabricante como subsídio para o dimensionamento da compensação série, é necessário identificar, por meio de simulação com o programa de transitórios eletromecânicos ANATEM, as correntes de “swing” máximas às quais ficam sujeitos os bancos de capacitores série.

Para a obtenção das correntes de “swing” máximas, o caso do ANATEM precisa ajustar-se à

condição de máxima transferência de potência entre as subestações envolvidas.

Devem ser simuladas condições com o sistema íntegro e degradado, sob abertura intempestiva sem aplicação de faltas e sob aplicação de defeito monofásico nas barras do capacitor série, no lado da linha e no lado da barra. É necessário considerar a configuração do sistema para o ano da entrada em operação do empreendimento, e também para horizontes de planejamento futuro PDE-EPE.

Tais informações permitirão a escolha adequada do nível de proteção a ser adotado para os MOVs, valores tipicamente situados entre 2,2 e 2,4 pu.

### 3.2.15.3. Os Ajustes Protetivos

Deve-se também fornecer ao fabricante o nível de curto-circuito, trifásico e monofásico, previsto para as barras terminais do banco série, no ano de entrada em operação e no ano horizonte de planejamento.

Caso o Anexo Técnico defina um valor máximo de curto-circuito, este valor deverá ser considerado para efeito do dimensionamento a esforços eletromecânicos de cada um dos elementos que constam do banco, tais como chaves seccionadoras, TCs, capacitores, indutores etc.

Os valores de curto-circuito irão constar da especificação de compra, pela Transmissora, do banco série. O fabricante deve se comprometer a atender ao requisito estabelecido.

As seguintes definições se fazem necessárias:

- Falta Interna: ocorre na própria linha onde se localiza o banco série;
- Falta Externa: ocorre em local externo à linha onde o banco série está situado. Falta no **barramento** é uma falta externa.

O anexo técnico estabelece que os circuitos de by-pass não devem jamais ser acionados para faltas externas, devendo o banco — leia-se MOV — suportar inclusive uma tentativa de religamento monopolar (tempo morto de 500 ms). Neste contexto, é necessário respeitar os tempos de eliminação de defeito estabelecidos nos Procedimentos de Rede.

A Figura 3.16 (b) ilustra uma aplicação de bancos série em circuitos paralelos. Embora a Figura mostre equivalentes de curto-circuito adjacentes às barras de estudo, é preferível afastar os equivalentes, para representar melhor a interação da rede com os bancos série, bem como a influência de frequências diferentes da fundamental.

Naquela Figura, em caso de operação com um trecho de linha em paralelo fora de operação, a corrente no trecho remanescente dobra, o que torna o caso mais severo. Isto ilustra como as topologias atual e futura influenciarão as análises.

Este tipo de avaliação deve ser feito pelo fabricante. Por meio de simulações no programa ATP, caberá a ele determinar:

- Eext: Máxima energia a ser dissipada pelo MOV para faltas externas, nos casos em que o by-pass não é permitido;
- Eint: Máxima energia a ser dissipada pelo MOV para faltas internas;
- Eset: Ajuste adotado para ativação do gap, por energia;
- Iset: Ajuste adotado para ativação do gap, por corrente;
- Threshold Margin: Diferença entre o valor de energia máximo e o ajuste adotado (Eset-Eext)
- Reservas instaladas não contabilizadas no rating do MOV
- Capacidade de dissipação de energia total do MOV a ser instalado.

A capacidade instalada do MOV deverá levar em conta a especificação de compra da Transmissora, a qual poderá definir, por exemplo, uma margem de segurança mínima, a ser somada a Eext.

A questão térmica deve ser levada em conta no dimensionamento. Dissipação de energia corresponde a aquecimento. Por isso, redundância é importante. Folga é importante. O resfriamento para a temperatura pré-evento pode demandar bastante tempo. Deve-se neste ponto ressaltar o seguinte: eventos repetitivos ao longo do dia que não ocasionem individualmente a atuação dos ajustes de Eset e Iset não devem acarretar indisponibilidade do banco série por horas a fio (aplicação de parcela variável), caso sejam os últimos de uma sequência separada por diversas horas. Trata-se de um risco da Transmissora e deve ser levado em conta na especificação e aquisição do equipamento.

Na segunda etapa dos estudos, a ser desenvolvida e apresentada pelo fabricante, relacionam-se os seguintes itens:

- Memória de cálculo do dimensionamento dos diversos componentes do “Main Circuit”;
- Descrição do comportamento térmico do banco após aplicação de uma sequência de faltas e da atuação do by-pass, incluindo a curva de aquecimento/resfriamento do banco;
- Estudo de dimensionamento do MOV do banco série e da definição dos ajustes de by-pass por corrente ou energia, a ser realizado com o programa ATP;
- Modelos de transitórios eletromagnéticos para a representação do banco série no programa ATP, em meio digital, e com a documentação necessária.

#### 3.2.15.4. Ressonância Subsíncrona Associada à Compensação Série

Esses estudos serão efetuados sempre que existam bancos de capacitores série eletricamente próximos a usinas térmicas, tendo por objetivo principal investigar os fenômenos de auto-excitação (efeito gerador de indução e interação torcional) e de torques transitórios nos eixos do conjunto turbina-gerador.

No caso de existência de equipamentos com controladores de ação rápida como CERs nas vizinhanças das usinas térmicas, deve também ser investigada a possibilidade de a interação desse controle vir a amplificar os modos de oscilação do eixo do conjunto turbina-gerador.

Tais fenômenos deverão ser investigados por meio de ferramentas de simulação de transitórios eletromagnéticos (ATP), considerando a representação completa da máquina, com o eixo do conjunto turbina-gerador representado por um sistema multimassa mola.

Alternativamente, havendo dificuldade na obtenção dos dados para as modelagens do sistema multimassa mola, do eixo do conjunto turbina-gerador das usinas térmicas na área de abrangência deste empreendimento, deverá ser obtida, através de simulações com programa ATP, a característica de resposta em frequência da rede frente a condições propícias para caracterização da autoexcitação, visando a identificar, por meio de consulta aos fabricantes dos geradores, a possibilidade de os torques transitórios ocasionarem danos aos eixos do conjunto turbina gerador daquelas usinas.

## 4. Diretrizes para a Especificação da Instalação e Equipamentos

### 4.1. Aspectos Gerais

Como diretriz principal para a especificação da instalação e dos equipamentos, deve-se considerar que estes serão conectados ao sistema existente; portanto, não devem comprometer ou limitar a operação das subestações nem impor restrições operativas às demais instalações do SIN.

A especificação da instalação e dos equipamentos abrangerá todos os componentes do empreendimento conforme relacionados no anexo técnico do edital.

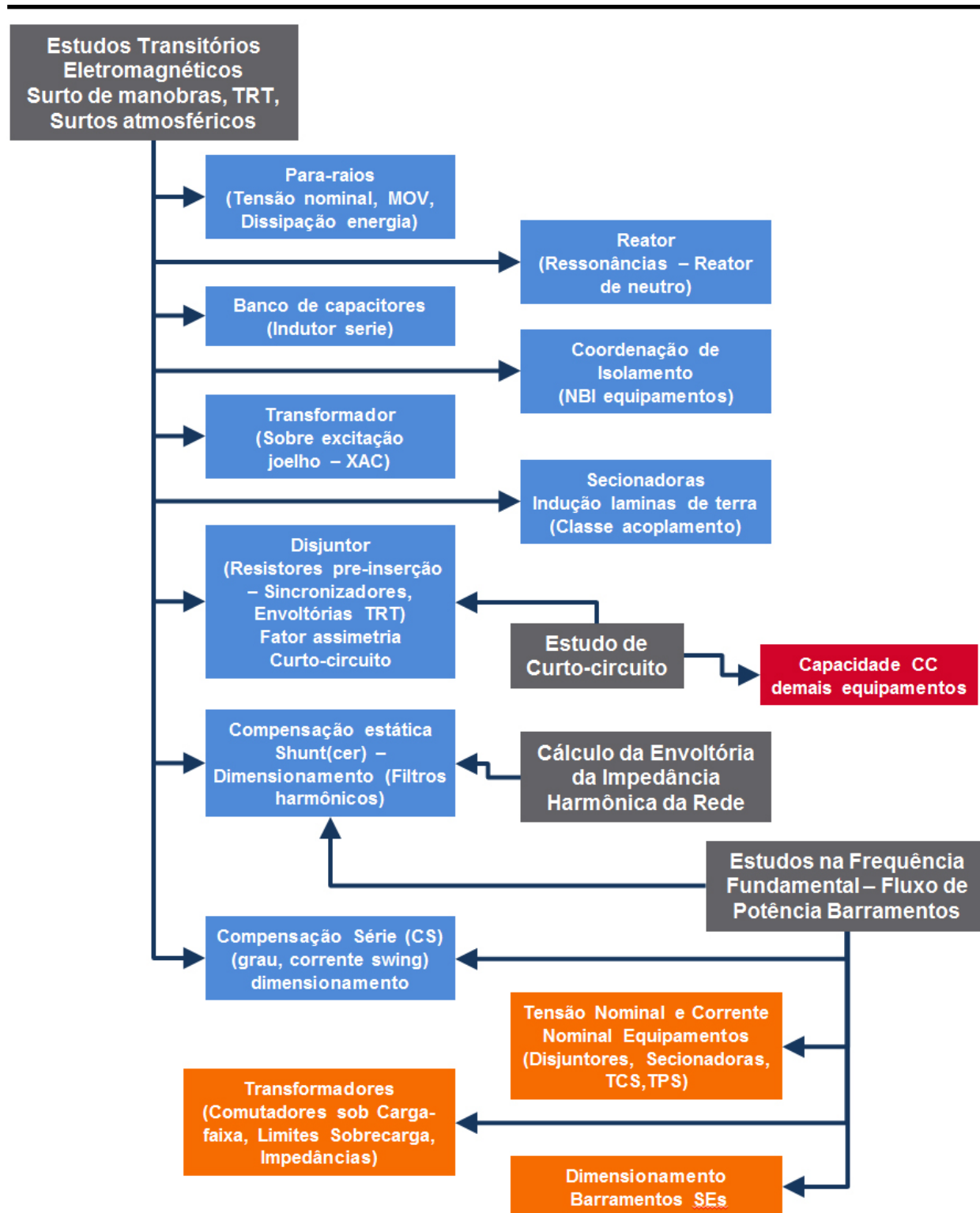
O dimensionamento das instalações e dos equipamentos deve considerar a etapa atual da instalação, como também as futuras, conforme relacionadas no anexo técnico do edital, além das condições sistêmicas a ser impostas pela configuração prevista pelo planejamento da expansão do SIN. Quando se tratar de ampliações em subestações já existentes, as características elétricas básicas dos equipamentos deverão ser similares ou superiores às dos existentes.

Como premissas indispensáveis ao dimensionamento da instalação e dos equipamentos, devem ser consideradas as conclusões e as recomendações dos estudos elétricos, abrangendo-se a frequência fundamental e os transitórios eletromagnéticos, conforme diretrizes apresentadas no item 3 do presente documento.

A Figura 4.1 apresenta o fluxograma relacionando os tipos de estudos necessários à especificação dos equipamentos.

Para a elaboração da especificação adequada das características básicas das instalações e dos equipamentos, é recomendável haver interação entre os especialistas das áreas de projeto e especificações de equipamentos correspondentes às da área de estudos elétricos de sistema.

Figura 4.1. Fluxograma Estudos Elétricos Versus Especificação dos Equipamentos.



A especificação das características básicas das instalações e dos equipamentos deve estar em conformidade com as últimas revisões das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, no que for aplicável. Na falta destas, devem ser adotadas as últimas revisões de normas das respectivas entidades: “International Electrotechnical Commission – IEC”, “American National Standards Institute – ANSI ou “National Electrical Safety Code – NESC”, nesta ordem de preferência, salvo onde expressamente indicado.

A Tabela 4.1 apresenta uma relação das normas ABNT ou IEC, em vigor, usualmente adotadas na especificação de equipamentos.

**Tabela 4.1. Normas Aplicáveis à Especificação dos Equipamentos.**

| Equipamento  | Norma ABNT / IEC                        |
|--|---|
| Disjuntores  | ABNT NBR IEC 62271 – 100:2006           |
| Transformadores de potência  | ABNT NBR 5356:2007                      |
| Aplicação de cargas em transformadores   | NBR 5416                                |
| Comutador de derivação em carga de transformadores                             | IEC 214                                 |
| Secionadores e chaves de aterramento   | ABNT NBR IEC 62271 – 102:2006           |
| Para-raios   | IEC 60099                               |
| Transformadores de corrente  | ABNT NBR 6856:1992                      |
| Transformador de potencial indutivo  | ABNT NBR 6855:2009                      |
| Transformador de potencial capacitivo  | IEC 60044-5                             |
| Especificações comuns para as normas de equipamentos de manobra de alta tensão | ABNT NBR IEC 60694:2006                 |
| Níveis de Isolamento   | ABNT NBR 6939:2000 e ABNT NBR 8186:2011 |
| Bobinas de Bloqueio  | ABNT NBR 8119:1983                      |

Aplicam-se também as diretrizes estabelecidas no submódulo 2.3 - Requisitos Mínimos para Transformadores e para Subestações e seus Equipamentos e no submódulo 23.3 - Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos dos Procedimentos de Rede do ONS

A seguir, apresentam-se alguns itens de ordem geral que precisam ser observados na especificação das instalações e equipamentos.

#### **4.1.1. Tensão Nominal e Sobretensão Admissível**

Os equipamentos são dimensionados para operar continuamente, sem restrição de tempo, em sua tensão nominal.

A especificação da tensão nominal dos equipamentos precisa ser efetuada de acordo com a classe de tensão normalizada para os mesmos. Não deve, portanto, ser confundida com a tensão nominal do sistema. Exemplo: para um sistema com tensão nominal de 500kV, os equipamentos correspondem à classe de tensão 550kV; portanto, a tensão nominal dos equipamentos será de 550kV.

A Tabela 4.2 apresenta as classes de tensão normalizadas utilizadas para a especificação da tensão nominal dos equipamentos.

**Tabela 4.2. Tensão Nominal dos Equipamentos.**

| <b>Tensão nominal do sistema(kV)</b> | <b>Tensão nominal dos equipamentos<br/>Classe de tensão(kV)</b> |
|--------------------------------------|---|
| 13,8                                 | 15  |
| 34,5                                 | 38  |
| 69                                   | 72,5  |
| 88*                                  | 92,4  |
| 138                                  | 145   |
| 230                                  | 245   |
| 345                                  | 362   |
| 440*                                 | 460   |
| 500 ou 525                           | 550   |
| 765                                  | 800   |

(\*) Valores não padronizados pela ABNT

Equipamentos localizados na extremidade de linhas de transmissão podem ser submetidos, em regime permanente, a valores de tensão mais elevados que a sua classe de tensão de especificação.

Esta elevação de tensão se agrava com o aumento da tensão de transmissão, por conta do efeito capacitivo destas linhas. A experiência operativa indica que o período máximo para que o operador manobre todos os elementos necessários ao controle de tensão, durante a recomposição de um sistema, é de até uma hora.

Embora as normas em vigor não especifiquem o dimensionamento dos equipamentos localizados na extremidade de linhas de transmissão, como reatores de linha, seccionadoras e transformadores de potencial, estes devem ser especificados para suportar, por uma hora, as sobretensões à frequência industrial, de acordo com a Tabela 4.3.

**Tabela 4.3. Tensão Eficaz entre Fases Admissível na Extremidade da Linha de Transmissão 1 Hora após a Manobra.**

Fonte: Tabela 4 Submodulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

| Tensão nominal do sistema (kV) | Tensão sustentada |       |
|--------------------------------|-------------------|-------|
|                                | (kV)              | (pu)  |
| 138                            | 152               | 1,10  |
| 230                            | 253               | 1,10  |
| 345                            | 398               | 1,15  |
| 440                            | 506               | 1,15  |
| 500                            | 600               | 1,20  |
| 525                            | 600               | 1,15  |
| 765                            | 800               | 1,046 |

Ressalta-se que, no caso das LTs 765 kV, o valor é limitado apenas a 800 kV, por limitações da única rede existente neste nível de tensão.

#### 4.1.2. Nível de Isolamento dos Equipamentos

O nível de isolamento de um equipamento reflete a sua suportabilidade a surtos de tensão de diversas características de amplitude e duração.

A norma em vigor a ser adotada para a definição nos níveis de isolamento dos equipamentos para efeito da coordenação de isolamento é a ABNT NBR 6939:2000.

As tensões estabelecidas em norma, a ser referenciadas na especificação dos equipamentos, são as seguintes:

- Tensão Suportável Nominal a Impulso Atmosférico
  - A terra e entre polos (kV, crista);
  - Entre contatos abertos.
- Tensão Suportável Nominal a Impulso de Manobra, a Seco e Sob Chuva
  - A terra e entre polos (kV, crista);
  - Entre contatos abertos.

A especificação dos níveis de isolamento dos equipamentos na etapa de projeto básico do empreendimento deve ser estabelecida a partir do estudo da coordenação de isolamento, conforme

apresentado no item 3.2.13 do presente documento, no qual são definidos os níveis de isolamento a ser especificados para os equipamentos da subestação, bem como as características nominais dos para-raios e recomendações quanto à localização (distâncias) dos equipamentos na instalação.

### **4.1.3. Corrente Nominal dos Equipamentos**

Para a especificação da corrente nominal dos equipamentos pertencentes à subestação, tais como disjuntores, chaves seccionadoras e transformadores de correntes, deve-se considerar que indisponibilidades de equipamentos — pertencentes ou não ao empreendimento sob análise — podem submeter os remanescentes a valores de correntes mais elevados.

Devem-se inclusive considerar horizontes mais à frente de planejamento, a partir dos resultados dos estudos efetuados com esta finalidade, conforme apresentado nos itens 3.1.2 – estudo de fluxo de carga e 3.1.7 – estudo de fluxo de potência nos barramentos, do presente documento.

Dentro de um mesmo bay, é necessário buscar compatibilizar os valores de corrente nominal especificada para os equipamentos, tais como disjuntores, chaves e TCs.

Já os equipamentos exclusivos das entradas de linhas de transmissão (no arranjo de barramento disjuntor e meio – DJM e anel – ANEL, para a seccionadora da linha e bobinas de bloqueio; no arranjo barra dupla – BD; todas as seccionadoras, disjuntores, TCS e bobinas de bloqueio) devem suportar, no mínimo, as condições de carregamento da linha de transmissão (capacidade de curta duração).

### **4.1.4. Barramento das Subestações**

#### **4.1.4.1. Arranjo de Barras**

O arranjo de barras seguirá as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital do correspondente ao empreendimento.

Na falta de informações, deve ser considerado o submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, que normatiza o seguinte, no seu Subitem 6.1.1:

Os arranjos de barramentos para subestações com isolamento a ar da rede básica são estabelecidos nos grupos abaixo, diferenciados por classe de tensão:

- Barramentos de tensão igual ou superior a 345kV: barra dupla com disjuntor e meio;
- Barramentos de 230kV: barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves.

Para condições especiais, aplica-se o disposto no Subitem 6.1.2 daquele submódulo dos Procedimentos de Rede.

#### 4.1.4.2. Capacidade de Corrente

Os barramentos das subestações devem ser dimensionados sob o ponto de vista da capacidade de corrente, considerando as conclusões e recomendações do estudo de fluxo de potência nos barramentos da subestação, conforme apresentado no item 3.1.7 do presente documento.

O estudo de fluxo de potência nos barramentos das subestações, por sua vez, irá considerar as situações mais severas de circulação de corrente, levando em conta a possibilidade de elementos da subestação e ocorrência de emergência no SIN, no horizonte de planejamento.

No caso de subestação existente, se a máxima corrente verificada for inferior à capacidade do barramento, o trecho de barramento associado ao empreendimento deve ser compatível com o existente.

No documento que contém as características básicas das instalações e equipamentos, é necessário informar a capacidade de corrente dos barramentos especificadas para todos os níveis, rígidos ou flexíveis, considerando a temperatura de projeto (operação normal e emergência).

## 4.2. Unidades Transformadoras de Potência

Os transformadores devem ser especificados tendo como ponto de partida os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão, sendo aplicadas as normas em vigor: ABNT NBR 5356:2007, NBR 5416 (aplicação de cargas) e a IEC 214 (comutador de derivação de cargas).

Também devem ser levadas em consideração as recomendações originárias dos estudos elétricos de sistema desenvolvidos para subsidiar a especificação dos equipamentos. Neste ponto destacam-se, para o caso dos transformadores, a avaliação do desempenho dos comutadores de derivação sob carga, desenvolvida nos estudos na frequência fundamental, e os estudos de transitórios eletromagnéticos das manobras de energização do transformador — no qual são estabelecidos os valores mínimos para o joelho da curva de saturação e para a reatância  $X_{ac}$ .

Especificações de transformadores que contrariem as conclusões e recomendações dos Estudos de Energização de Transformadores, realizados pela própria Transmissora, serão consideradas como inadequadas, e são motivo para a não aprovação do Projeto Básico.

A seguir, são apresentados os principais itens a ser observados na especificação de transformadores, com destaque para as interfaces com os estudos elétricos.

- **Potência Nominal:** devem ser atendidas as orientações do anexo técnico do edital, no que se refere ao valor das potências nominais entre enrolamentos, para a operação em qualquer tape especificado.

As unidades transformadoras devem possuir estágios de refrigeração capazes de atender aos procedimentos para aplicação de cargas estabelecidos na norma ABNT NBR 5356:2007.

Deve ser observada a adequação da potência nominal especificada para o transformador, em função dos fluxos de potência resultantes no horizonte de planejamento estudado, conforme os estudos na frequência fundamental, item 3.1.2 do presente documento.

É necessário atender aos requisitos de operação em sobrecarga especificados no anexo técnico.

Atenção especial deve ser dispensada à especificação da temperatura ambiente.

- **Comutação:** o comutador de derivação em carga deve ser projetado, fabricado e ensaiado de acordo com a publicação IEC-214 “On Load Tap Changers”.

Serão atendidas as orientações do anexo técnico do edital que geralmente solicita a definição do enrolamento onde serão instalados os comutadores, para controlar a tensão de um determinado barramento pré-estabelecido.

Também deve ser especificada a faixa de derivações de tape com o número de posições de ajustes (tapes). A faixa especificada deve ser compatível com a estabelecida pelos estudos na frequência fundamental, caso esta seja mais abrangente que aquela especificada no anexo técnico.

- **Carregamento:** devem ser atendidas as orientações do anexo técnico do edital, que geralmente estabelece as condições de carregamento a ser observadas, como por exemplo: 120% da potência nominal por período de 4 horas, e 140% por período de 30 minutos do seu ciclo de carga, para a expectativa de perda de vida útil normal estabelecida nas normas técnicas de carregamento de transformadores.

O transformador precisa ser capaz de operar nas condições estabelecidas na norma ABNT NBR 5416 e na Resolução Normativa ANEEL nº 191 de 12 de dezembro de 2005, resguardado o direito de adicional financeiro devido a sobrecargas que ocasionem perda adicional de sua vida útil, em conformidade com os procedimentos da Resolução Normativa ANEEL nº 513 de 16 de setembro de 2002.

Além disso, os transformadores devem ser capazes de operar com as suas potências nominais, em regime permanente, para toda a faixa operativa de tensão da rede básica, tanto no primário quanto no secundário, com ou sem comutadores de derivações, sejam eles em carga ou não. A título de exemplo: para um transformador 230/138kV – 150MVA, faixa de tapes (0,9-1,1), a potência nominal deverá ser fornecida para qualquer tape dentro desta faixa.

- **Sobreexcitação:** a unidade transformadora de potência deve ser especificada para suportar, no mínimo, o perfil de sobreexcitação em vazio a 60Hz estabelecido no anexo técnico do edital, ou, na sua falta, de acordo com os submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

**Tabela 4.4. Valores Indicativos de Sobretensões Admissíveis a 60Hz para Transformadores em Vazio. Fonte: Tabela 6 da Referência [5.1].**

| Tensão (pu) | Tempo (s) |
|-------------|-----------|
| 2,0         | 0,1667    |
| 1,82        | 0,3333    |
| 1,50        | 1,667     |
| 1,40        | 3,60      |
| 1,35        | 10        |
| 1,25        | 20        |
| 1,20        | 60        |
| 1,15        | 480       |
| 1,10        | regime    |

(\*) Valores em pu tendo por base a tensão da derivação

(valor eficaz de tensão pelo qual o *tape* é designado na tabela de derivação do transformador).

- **Impedâncias:** os valores das impedâncias entre o enrolamento primário e secundário devem ser especificados de acordo com as diretrizes do anexo técnico do edital. Valores típicos ( $X_{ps}$ ) são na faixa de 12% a 14% na base da potência nominal para unidades de médio e baixo porte, e de 10% a 12% para unidades de maior porte. Os Procedimentos de Rede estabelecem apenas valores máximos.

Caso seja necessária a especificação de um enrolamento terciário, seja por solicitação do anexo técnico ou por necessidade da transmissora para alimentação de serviços auxiliares, o valor de  $X_{ps}$  em conjunto com as potências de curto-circuito a ser informadas para o fabricante levará em conta a definição dos valores de  $X_{st}$  e  $X_{pt}$ .

Os estudos de transitórios eletromagnéticos de energização do transformador já deverão considerar os valores desses parâmetros informados pelo fabricante em potencial, mesmo considerando que, numa primeira etapa do projeto do equipamento, as análises sejam preliminares para a relação de tensão e potência especificada.

- **Curva de Saturação – Joelho e Xac:** no documento de especificação das unidades transformadoras de potência, os parâmetros Joelho (pu) e Xac(%) da curva de magnetização devem ser sempre especificados, tomando como base as conclusões e recomendações dos estudos de transitórios eletromagnéticos da energização dos transformadores.

A Tabela 4.5 foi obtida a partir de consultas a fabricantes e fornece uma faixa orientativa que pode ser levada em conta nos estudos e especificações. Esta discussão deve preceder a compra do equipamento.

- **Perdas:** o valor das perdas das unidades transformadoras de qualquer potência deve ser igual ou inferior a 0,3% da potência nominal na operação primário secundário.

Serão seguidas as orientações contidas no anexo técnico do edital, que geralmente estabelecem as diretrizes referentes às perdas. A Tabela 4.6 apresenta as perdas máximas entre o enrolamento primário e o secundário a ser observadas no caso de transformadores trifásicos ou monofásicos de potência trifásica superior a 5MVA e de tensão nominal de alta tensão igual ou superior a 230kV.

- **Características de Curto-circuito:** o dimensionamento das unidades transformadoras deve considerar os requisitos de curto-circuito prescritos na norma ABNT NBR 5356:2007.

Devem-se informar os níveis de curto-circuito máximos, simétricos e assimétricos, obtidos a partir dos estudos de sistema, previstos no horizonte de planejamento para as barras primária, secundária e terciária, caso existente, das unidades transformadoras.

Deve-se considerar também, se for o caso, a necessidade de limitar os níveis de curto-circuito — como, por exemplo, no enrolamento terciário (entre AT-BT e MT-BT), e para qual patamar de potência de curto-circuito (MVA). A necessidade de limitação da potência de curto-circuito afeta o projeto dos enrolamentos do transformador.

Tabela 4.5. Faixas Orientativas de Xac em Função da Relação de Transformação.

**Faixa de valores típicos de reatância com núcleo de AR “XAC” em autotransformadores**

Para a tabela abaixo foi considerado Impedância do Autotransformador de 13% Núcleo tipo Core Type e arranjos típicos para os enrolamentos.

| Relação | Comutador sob carga | Visto pelo Terminal | Faixa (XAC%) |
|---------|---------------------|---------------------|--------------|
| 500/345 | LV-345              | HV                  | 120-160      |
|         | LV-345              | LV                  | 115-155      |
| 500/345 | HV-500              | HV                  | 70-100       |
|         | HV-500              | LV                  | 65-95        |
| 345/230 | LV-230              | HV                  | 115-155      |
|         | LV-230              | LV                  | 110-150      |
| 345/230 | HV-345              | HV                  | 65-95        |
|         | HV-345              | LV                  | 60-90        |
| 500/230 | LV-230              | HV                  | 45-70        |
|         | LV-230              | LV                  | 40-60        |
| 500/230 | HV-500              | HV                  | 30-50        |
|         | HV-500              | LV                  | 20-40        |
| 500/138 | LV-138              | HV                  | 30-50        |
|         | LV-138              | LV                  | 20-40        |
| 500/138 | HV-500              | HV                  | 20-40        |
|         | HV-500              | LV                  | 15-30        |

Salientamos que esses valores não podem ser considerados como valores de garantia, porque os mesmos podem ter alterações significativas em função de atendimentos a características especiais do equipamento, como por exemplo: Impedâncias muito baixas ou altas, Paralelismo comunidades existentes, limitações dimensionais, etc.

Tabela 4.6. Perdas para Transformadores.

| Perdas em porcentagem da potência nominal* |               |
|--|---------------|
| Potência trifásica nominal (Pn)**          | Perdas Máxima |
| $5 < P_n < 30$ MVA                         | 0,70          |
| $30 \leq P_n < 50$ MVA                     | 0,60          |
| $50 \leq P_n < 100$ MVA                    | 0,50          |
| $100 \leq P_n < 200$ MVA                   | 0,40          |
| $P_n \geq 200$ MVA                         | 0,30          |

(\*) Perdas totais na tensão nominal e frequência nominal para a operação primário-secundário.

(\*\*) Pn: potência nominal no último estágio de refrigeração.

- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento deve ser em função da tensão máxima padronizada dos enrolamentos das unidades transformadoras, conforme prescritos na norma ABNT NBR 5356:2007.
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento especificados devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de transitórios eletromagnéticos de coordenação de isolamento.

- **Nível de Ruído:** O nível de ruído audível emitido pelas unidades transformadoras de potência deve estar em conformidade com a norma ABNT NBR 5356:2007. O nível de limitação de ruído especificado pode ter impacto no joelho da curva de saturação.

O item 9.1 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS, como resultado do projeto básico.

A aprovação de um Projeto Básico corresponde ao compromisso de que serão respeitados os valores especificados no projeto. Depois de os equipamentos serem fornecidos pelos fabricantes, estes se submeterão a testes de aceitação por parte das Transmissoras.

As características finais serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase, os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

### 4.3. Reatores em Derivação

Os reatores em derivação devem ser especificados tendo como ponto de partida os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão.

Também precisam ser levadas em consideração as recomendações originárias dos estudos elétricos de sistema desenvolvidos para subsidiar a especificação dos equipamentos. Destacam-se, para o caso dos reatores em derivação, as análises das sobretensões sustentadas e de transitórios eletromagnéticos associados às sobretensões, assim como as condições de ressonância e extinção de arco secundário para a viabilização do religamento monopolar, que poderá inclusive acarretar a necessidade da instalação de reator de neutro, dentre outros aspectos.

No caso de reatores de linha aplicados junto à compensação série, o requisito de tensão nominal poderá ser mais elevado do que a classe de tensão normalizada. Ele será definido em função do resultado dos estudos na frequência fundamental.

A seguir são apresentados os principais itens a observar na especificação dos reatores em derivação.

- **Esquema de Aterramento:** podem ser considerados os seguintes esquemas de aterramento:
  - Estrela solidamente aterrada;
  - Estrela aterrada através de impedância.

Caso necessário, o uso de impedância de aterramento e o isolamento do neutro do reator devem ser dimensionados considerando esse equipamento.

- **Perdas:** o valor médio das perdas totais, à tensão nominal de operação e frequência 60Hz, deve ser inferior a 0,3% da potência nominal do reator.
- **Suportabilidade a Sobretensões:** o equipamento deve ser capaz de suportar os níveis de sobretensões transitórias e temporárias definidas pelos estudos de sistema.

O dimensionamento dos reatores, em especial os de linha, deve considerar a possibilidade de sobretensões em regime normal de operação, de forma a não serem limitadores da capacidade de transmissão da linha.

Na falta de informação, é necessário utilizar os valores da Tabela 7 do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, conforme apresentado na Tabela 4.7 a seguir.

- **Característica V x I:** deve ser definida de acordo com os estudos de sistema e engenharia. Deve-se especificar a característica V x I do reator, indicando o valor mínimo para o joelho da característica de magnetização.

E recomendável a especificação do joelho da característica de magnetização em valor superior a 1,40pu.

- **Isolamento do Neutro dos Reatores:** em caso da utilização de reator de neutro, será especificado o isolamento do neutro compatível com o definido nos estudos de transitórios eletromagnéticos (religamento monopolar e/ou indução em lâminas de terra de seccionadoras).

Tabela 4.7. Valores Indicativos para Sobretensões a 60Hz para Reatores em Derivação. Fonte: Tabela 7 Referência [5.1]

| Tensão (1)<br>(pu) | Tensão (2)<br>(pu) | Tensão (3)<br>(pu) | Tempo (s) |
|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| 2,0                | 2,0                | 2,10               | 0,1667    |
| 1,82               | 1,82               | 1,91               | 0,3333    |
| 1,50               | 1,50               | 1,57               | 1,667     |
| 1,40               | 1,40               | 1,47               | 3,60      |
| -                  | 1,15               | 1,20               | 3600      |
| 1,10               | 1,10               | 1,15               | regime    |

(1) Valores em pu para a tensão base de 230kV

(2) Valores em pu para a tensão base de 345kV, 440kV e 525kV

(3) Valores em pu para a tensão base de 500kV

- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento é função da tensão nominal padronizada para o equipamento. Ela abrange:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento adotados devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de coordenação de isolamento (transitórios eletromagnéticos).

- **Tolerâncias:** devem ser especificadas. Usualmente, admite-se para a impedância o valor de 2% por fase em relação ao valor especificado, não devendo afastar-se mais que 1% do valor médio medido das três fases das unidades.

O item 9.2 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado

“Como Construído”. Nesta fase, os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

#### 4.4. Banco de Capacitores em Derivação

Os bancos de capacitores em derivação devem ser especificados tendo como ponto de partida os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão.

Devem-se levar em consideração as recomendações originárias dos estudos elétricos de sistema desenvolvidos para subsidiar a especificação dos equipamentos, destacando-se, neste caso, as avaliações dos transitórios eletromagnéticos de corrente e de tensão, devido a manobras de energização, aplicação e eliminação de defeito associado a banco de capacitores em derivação, conforme apresentado no item 3.2.9 do presente documento.

Caso necessário, em função da conclusão dos mencionados estudos, ou de diretriz estabelecida no anexo técnico do edital, devem ser especificados indutores limitadores de corrente a ser instalados em série com o banco de capacitores, como também ser recomendado que os disjuntores de manobra dos bancos de capacitores sejam equipados com dispositivos sincronizadores ou resistores de pré-inserção.

A seguir, são apresentados os principais itens a observar na especificação dos bancos de capacitores em derivação.

- **Potência Nominal:** as potências nominais dos bancos de capacitores devem ser especificadas de acordo com o estabelecido no anexo técnico do edital, cuja adequação já deve ter sido comprovada por meio dos estudos de sistema.
- **Conexão:** deve ser especificada a conexão dos bancos de capacitores em derivação, de acordo com o estabelecido no anexo técnico do edital. Convém que cada banco de capacitores deva ser protegido e manobrado independentemente pelo seu disjuntor.
- **Esquema de Aterramento:** deve ser especificado o esquema de aterramento; usualmente, do tipo estrela solidamente aterrada.
- **Tolerâncias:** serão admitidas as seguintes tolerâncias:

Capacitância do banco:  $\pm 2,0\%$  por fase em relação ao valor especificado; nenhum valor medido de quaisquer das 3 fases deve afastar-se mais de 1% do valor médio medido das três fases.

- **Perdas Dielétricas:** o valor médio das perdas dielétricas de cada unidade capacitiva à tensão e frequência nominais — com resistor de descargas e a temperatura de 200 C — deverá ser no máximo de 0,12 W/kVAr para capacitores sem fusíveis internos, e 0,16 W/

kVAr para capacitores com fusíveis internos.

- **Capacidade de Curto-circuito:** precisa ser especificada para suportar, no mínimo, os níveis de curto-circuito estabelecidos no anexo técnico do edital.

Devem ser consideradas também as análises das manobras de energização do banco de capacitores na subestação sob falta aplicada. Neste caso ocorre a descarga dos capacitores.

- **Indutor Limitador de Corrente:** quando recomendado pelos estudos transitórios eletromagnéticos da manobra dos bancos, deve ser especificado o indutor limitador de corrente em série. Também serão especificados os seguintes tópicos: a tensão nominal do indutor, o valor da indutância (em mH ou  $\mu$  H), a corrente nominal e as correntes de curto-circuito simétrica (kA-eficaz, 1 seg.), assimétrica (kA-pico) e transitória de alta frequência (kA-pico), com a frequência em KHz.
- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento deve ser em função da tensão nominal padronizada para o equipamento, abrangendo:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento precisam ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de coordenação de isolamento.

O item 9.3 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

## 4.5. Disjuntores

Os disjuntores serão especificados tendo como ponto de partida os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão, adotando como referência a norma em vigor: ABNT NBR IEC 62271 – 100:2006.

Também devem ser levadas em consideração as recomendações originárias dos estudos elétricos de sistema desenvolvidos para subsidiar a especificação dos equipamentos, sendo de maior relevância — para o caso dos disjuntores —, os estudos de curto-circuito (simétrico e assimétrico) que também identificam a relação X/R (constante de tempo), os de fluxo de potência de barramento (corrente nominal), os relativos às tensões de restabelecimento transitórias (fator de 1º polo e envoltórias

de TRT), bem como os de energização/religamento de linhas e energização de transformadores (resistores de pré-inserção, mecanismos de manobra controlada).

A seguir são apresentados os principais itens a observar na especificação de disjuntores, sendo destacadas as interfaces com os estudos elétricos.

- **Corrente Nominal:** a corrente nominal do disjuntor precisa ser compatível com a máxima corrente possível na indisponibilidade de outros componentes na subestação.

Levem-se em consideração as capacidades de curta duração de linhas de transmissão conectadas, as indisponibilidades externas em função das análises efetuadas nos estudos na frequência fundamental e o fluxo de potência nos barramentos da subestação, conforme apresentado nos itens 3.1.2 e 3.1.7 do presente documento.

Deve-se também levar em conta a capacidade de interrupção do disjuntor. Esta característica já possui, como “dote”, um valor mínimo associado de corrente nominal, consequência do dimensionamento dos contatos do disjuntor para atendimento a solicitação de curto-circuito. Por exemplo: um disjuntor de 40 kA deve ser especificado com uma corrente nominal não inferior a 3150 A.

É necessário haver coerência entre as correntes nominais estabelecidas pelo anexo técnico e as conclusões dos estudos, de tal forma que se evitem superações desnecessárias e previsíveis.

É desejável a compatibilização dos valores de corrente nominal entre disjuntores, chaves seccionadoras e para transformadores de corrente localizados no mesmo vão.

- **Capacidade de Curto-circuito:** os disjuntores devem ser dimensionados respeitando os valores de corrente de curto circuito nominal (corrente simétrica de curto-circuito) e de crista da corrente de estabelecimento nominal em curto-circuito (corrente assimétrica de curto-circuito), definidas no anexo técnico do edital.

A relação mínima de assimetria definida no anexo técnico é de 2,6 e corresponde a uma relação de  $X/R$  de 17 (constante de tempo de 45 ms). Entretanto, os fatores de assimetria precisam ser especificados em função dos resultados do cálculo da assimetria da corrente de curto-circuito, conforme apresentado no item 3.2.11 do presente documento, e podem ser maiores que os estabelecidos no anexo técnico.

Os disjuntores devem ser especificados para abertura de corrente de curto-circuito nas condições mais severas de  $X/R$  no ponto de conexão do disjuntor. Em caso de disjuntores localizados nas proximidades de usinas geradoras, especial atenção deve ser dada à relação  $X/R$ , que tende a se elevar consideravelmente.

Desta forma, atenção ao definir a capacidade de estabelecimento nominal de curto circuito. Caso  $X/R$  seja maior que 17, o fator de assimetria pode ser maior que 2,6 e elevar o seu valor acima do estabelecido no anexo técnico.

- **Resistores de Pré-inserção e Dispositivos de Manobra Controlada:** os disjuntores devem ser especificados com resistores de pré-inserção ou com mecanismos de fechamento ou abertura controlada, quando necessário, em função dos resultados dos estudos de transitórios eletromagnéticos, conforme apresentado nos itens 3.2.4 – estudo de energização de linhas de transmissão, 3.2.5 – estudo de religamento tripolar de linha de transmissão e 3.2.8 – estudo de energização de transformadores.

Dispositivos de manobra controlada implicam a necessidade de precisão nos momentos de fechamento. Os disjuntores devem ser especificados de forma a acompanhar as necessidades da manobra. Nestes casos, a imprecisão no fechamento de um polo deve ser de no máximo 1 ms.

Para os resistores de pré-inserção (RPI), devem ser definidos o valor ôhmico e o tempo de sua inserção. O valor de 400 ohms é usualmente considerado, quando a adoção de RPIs é estudada. Entretanto, os estudos podem indicar a necessidade de valores diferentes.

- **Solicitações de Manobras:** os disjuntores devem ser especificados para operar de acordo com as solicitações de manobra determinadas nos estudos de TRT, conforme apresentado no item 3.2.10 do presente documento (falta terminal, falta quilométrica, abertura em oposição de fases, abertura de linha em vazio), e respeitar as diretrizes estabelecidas na norma ABNT NBR IEC 62271 – 100:2006.

O fator de primeiro polo padronizado de acordo com a norma em vigor ABNT NBR IEC 62271 – 100:2006, é igual a 1,3. Caso necessário, em função dos resultados dos estudos de tensão de restabelecimento transitória, ou diretriz estabelecida no anexo técnico do edital, este fator deverá ser especificado como 1,5. Esta alteração aumenta em torno de 15% o valor de TRT máxima suportada pelo disjuntor, para faltas terminais.

Em alguns casos, a violação das taxas de crescimento e do valor máximo de TRT é tão grande, que a solução pode ser a recomendação de adoção de um equipamento pertencente a uma classe de tensão imediatamente superior. Exemplo: violação tão severa das envoltórias normalizadas de TRT para disjuntores da classe de tensão 245kV, que só possa ser solucionada por meio da especificação de disjuntor da classe de tensão imediatamente superior (300kV).

Os disjuntores para manobra de linhas de transmissão ou banco de capacitores em derivação devem ser especificados como de “baixíssima probabilidade de reacendimento

de arco”, classe C2, conforme norma ABNT NBR IEC 62271 – 100:2006.

Os requisitos advindos dos estudos de abertura em vazio deverão ser considerados na definição da corrente capacitiva máxima a ser interrompida pelo disjuntor. Caso os valores obtidos sejam maiores que os normalizados, eles deverão ser especificados.

São os seguintes os requisitos mínimos definidos em norma (Tabela 5-ABNT-IEC62271-100-2006) para a abertura capacitiva:

- Classe de Tensão 550 kV: 500 A
- Classe de Tensão 362 kV: 315 A
- Classe de Tensão 245 kV: 125 A
- Classe de Tensão 145 kV: 50 A

Caso necessário, os disjuntores devem ser especificados com capacidade de manobrar mais de um tipo de equipamento ou linhas de transmissão existentes na subestação, como é o caso de disjuntor do meio em arranjo do tipo disjuntor e meio.

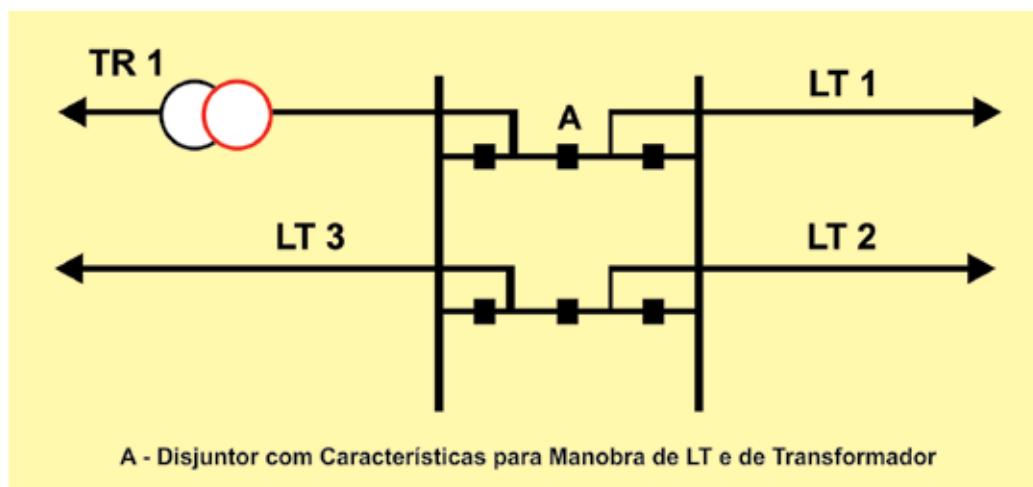
No caso ilustrado na Figura 4.2, o disjuntor A pode manobrar tanto a linha quanto o transformador. Pode ocorrer que o disjuntor específico da linha tenha resistor de pré-inserção, e o do transformador tenha manobra controlada. Nesta situação, os estudos de energização de transformadores devem estudar também o desempenho da manobra com resistores de pré-inserção de mesmo tamanho que o utilizado na linha. Caso eles demonstrem que a manobra do transformador é possível, mesmo com menor eficiência do que quando é utilizado o mecanismo de manobra controlada, o disjuntor do meio deverá ser equipado com o resistor de pré-inserção.

Caso a linha seja curta e o disjuntor da LT não possua nenhum dispositivo de controle de sobretensões, sugere-se adotar o mecanismo de manobra controlada no disjuntor do meio.

Os disjuntores utilizados na manobra de reatores em derivação devem, sempre, ser especificados com dispositivos de manobra controlada.

Nos casos em que forem utilizados mecanismos de fechamento ou abertura controlados, deve ser especificada a dispersão máxima dos tempos médios de fechamento ou de abertura compatíveis com as necessidades de precisão da manobra controlada. Também devem ser especificados o RDDS, a imprecisão eletrônica máxima e a imprecisão mecânica máxima. Valores típicos restringem a imprecisão total ao valor máximo de  $\pm 1,5$  ms.

**Figura 4.2. Exemplo de Disjuntor com Característica para Manobra de Tipo Diferente de Equipamento (Transformador / Linha) de Transmissão em Arranjo de Barra do Tipo Disjuntor e meio.**



Havendo violação das envoltórias normalizadas adotadas como referência para a especificação do disjuntor, identificadas através dos estudos das tensões de restabelecimento transitórias, as mesmas devem ser submetidas ao fabricante, no sentido de obter o parecer sobre a viabilidade da manobra. Neste sentido, é recomendável anexar ao documento de especificação do disjuntor os gráficos de TRT, obtidos a partir dos estudos que excedam os valores normalizados, como forma de subsidiar a análise por parte do fabricante.

- **Ciclo de Operação, Tempo Máximo de Interrupção e Circuitos de Disparo:** o ciclo de operação dos disjuntores deve atender aos requisitos das normas aplicáveis (ABNT NBR IEC 62271 – 100:2006)

O tempo máximo de interrupção para disjuntores de classes de tensão acima de 245kV deve ser de 2 ciclos para a frequência de 60 Hz.

O tempo máximo de interrupção para disjuntores de classe de tensão de 245 kV e abaixo deve ser de 3 ciclos para a frequência de 60 Hz.

Os disjuntores devem ter dois circuitos de disparo independentes, lógicas de detecção de discrepância de polos e acionamento monopolar. O ciclo de operação nominal precisa ser compatível com a utilização de esquemas de religamento automático tripolar e monopolar.

Caso o religamento monopolar seja exigido para os disjuntores de 138kV, estes devem ser especificados com acionamento monopolar, característica esta não normalizada para este nível de tensão.

- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento é função da tensão nominal padronizada para o equipamento, abrangendo:

- Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
- Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento serão compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de coordenação de isolamento.

- **Outras Características:** a utilização de valores de curto-circuito elevados para níveis de tensão de operação baixos pode resultar em equipamentos de dimensões físicas maiores do que as habituais, fato a ser levado em consideração na elaboração do arranjo físico da subestação. Exemplo: disjuntores de tensão nominal 138kV com corrente de curto-circuito simétrica de 63kA.

O item 9.4 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

## 4.6. Secionadoras, Lâminas de Terra e Chaves de Aterramento

As secionadoras, lâminas de terra e chaves de aterramento serão especificadas tendo como ponto de partida os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão, adotando como referência a norma em vigor: ABNT NBR IEC 62271 – 102:2006.

Também devem ser levados em consideração: as recomendações originárias dos estudos elétricos de sistema desenvolvidos para subsidiar a especificação dos equipamentos; o estudo na frequência fundamental para a especificação dos nominais da chave; e o estudo transitório eletromagnético das tensões e correntes induzidas por acoplamento eletromagnético e eletrostático existente entre circuitos em paralelo, conforme abordado no item 3.2.12 do presente documento.

A seguir são apresentados os principais itens a observar na especificação das secionadoras, lâminas de terra e chaves de aterramento, sendo destacadas as interfaces com os estudos elétricos.

- **Corrente Nominal:** a corrente nominal das secionadoras deve ser compatível com a máxima corrente possível na indisponibilidade de outros componentes na subestação, como também levar em consideração as capacidades de curta duração de linhas de transmissão conectadas, indisponibilidades externas em função das análises efetuadas nos estudos na frequência fundamental e fluxo de potência nos barramentos da subestação,

conforme apresentado nos itens 3.1.2 e 3.1.7 do presente documento.

Deve haver coerência com as correntes nominais especificadas para os disjuntores e transformadores de corrente localizados no mesmo vão.

- **Capacidade de Curto-circuito:** as seccionadoras precisam ser dimensionadas respeitando o valor de corrente de curto circuito nominal (corrente simétrica de curto-circuito) e o valor de crista nominal da corrente suportável (corrente assimétrica de curto-circuito), definidos no anexo técnico do edital.

A relação mínima de assimetria definida no anexo técnico é de 2,6 e corresponde a uma relação de X/R de 17 (constante de tempo de 45 ms). Entretanto, os fatores de assimetria devem ser especificados em função dos resultados do cálculo da assimetria da corrente de curto-circuito, conforme apresentado no item 3.2.11 do presente documento, e podem ser maiores que os estabelecidos no anexo técnico.

Desta forma, atenção ao definir o valor de crista nominal da corrente suportável. Caso X/R seja maior que 17, o fator de assimetria pode ser maior que 2,6, elevando o seu valor acima daquele estabelecido no anexo técnico.

- **Capacidade de Interrupção de Correntes Induzidas das Lâminas de Terra:** esta característica deve ser sempre especificada para chaves seccionadoras com lâminas de terra. Existem duas classes de acoplamento A e B (baixa e alta). A omissão de sua especificação não implica necessariamente que a chave seja tipo A ou tipo B. Posteriormente, com a evolução topológica da rede, a avaliação de sua superação depende do conhecimento de sua capacidade.

As lâminas de terra e chaves de aterramento das linhas de transmissão devem ser dotadas de capacidade de interrupção de correntes induzidas por acoplamento eletromagnético e eletrostático, no caso de existirem circuitos que correm paralelamente a outras linhas de transmissão, de acordo com as análises a ser efetuadas por meio do estudo das tensões e correntes induzidas em lâminas de terra das seccionadoras, conforme apresentado no item 3.2.12 do presente documento.

Este acoplamento é maior entre circuitos de uma mesma torre de circuito duplo, ou entre circuitos em paralelo, cuja distância centro a centro das torres seja baixa. A prática construtiva e o preço das faixas de passagem têm levado a situações cada vez mais compactas, nas quais o acoplamento se torna mais severo.

A experiência com os projetos recebidos tem mostrado que, em muitos casos, os valores normalizados são excedidos, havendo necessidade de chaves especiais.

A classe de acoplamento para as lâminas de terra ou chaves de aterramento devem ser especificadas de acordo com o anexo C da norma ABNT NBR IEC 62271 – 102:2006: chaves de aterramento classe A – baixo acoplamento ou linhas paralelas relativamente curtas; chaves de aterramento classe B – alto acoplamento ou linhas paralelas relativamente longas.

Dependendo das solicitações às quais a chave ficará sujeita, poderá ser necessário adotar como solução a recomendação de chave pertencente a uma classe de tensão imediatamente superior. Exemplo: violação dos limites de correntes ou tensões por indução eletrostática ou eletromagnética normalizadas (ABNT NBR IEC 62271 – 102:2006 – Anexo C) da lâmina de terra de classe de tensão igual a 245kV, solucionada pela especificação de lâmina de terra da classe de tensão imediatamente superior (300kV).

- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento é função da tensão nominal padronizada para o equipamento, abrangendo:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de coordenação de isolamento.

O item 9.5 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

## 4.7. Para-raios

Os para-raios devem ser instalados nas entradas de linhas de transmissão, nas conexões de unidades transformadoras de potência, de reatores em derivação e de bancos de capacitores não autoprotégidos. Os para-raios devem, de forma geral, ser do tipo estação, de óxido de zinco (ZnO), adequados à instalação externa. Devem ser observados os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão, adotando-se como referência a norma em vigor: IEC 60099.

Também devem ser levadas em consideração as recomendações dos estudos elétricos de sistema, estudos de transitórios eletromagnéticos, em especial os relacionados com as manobras de energização e religamento de linhas de transmissão, de manobra de energização de transformadores

e de coordenação de isolamento, nos quais são analisadas e efetuadas as recomendações quanto às características de tensão nominal e dissipação de energia nos para-raios e da distância de instalação em relação aos equipamentos.

A especificação de para-raios com curva de descarga, para surtos de manobra (30/60 $\mu$ s) muito mais baixa do que a considerada nos estudos de manobras, pode levar a níveis de dissipação de energia superiores aos encontrados nas simulações. Neste caso, poderá tornar-se necessária, eventualmente, a aquisição de para-raios com colunas adicionais.

Em contrapartida, a adoção de para-raios com tensão nominal superior ao utilizado no estudo pode levar à exposição dos equipamentos a valores superiores à sua suportabilidade.

Desta forma, convém respeitar as características recomendadas pelos estudos de manobra (tensão nominal, capacidade de dissipação de energia e curva de descarga surto de manobra).

A seguir, são apresentados os principais itens a observar na especificação dos para-raios, sendo destacadas as interfaces com os estudos elétricos.

- **Tensão Nominal (Ur):** deve ser especificada a tensão nominal do para-raios (kV, eficaz – fase terra), em função da tensão nominal do sistema, da tensão máxima de operação contínua e da característica de aterramento do sistema, de acordo com os resultados dos estudos elétricos de sistema e diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital.
- **Máxima Tensão Contínua de Operação (MCOV):** deve ser especificada a máxima tensão contínua de operação (MCOV) (kV, eficaz), conforme diretriz estabelecida no anexo técnico do edital.
- **Capacidade de Dissipação de Energia:** os para-raios devem ser especificados com uma capacidade de dissipação de energia (KJ/kV – curva de descarga 30/60 $\mu$ s) suficiente para fazer frente a todas as solicitações identificadas nos estudos de sistema, estudos de transitórios eletromagnéticos. Deve também ser indicada a classe (IEC) de capacidade de absorção de energia.
- **Tensões Residuais:** devem ser emitidas orientações para a aquisição do para-raios com característica da tensão residual compatível com as consideradas nos estudos transitórios eletromagnéticos (coordenação de isolamento 8 x 20 $\mu$ s (KV, crista) e surto de manobra 30/60  $\mu$ s (KV, crista).
- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento é função da tensão nominal padronizada para o equipamento. Ela abrange:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento precisam ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de coordenação de isolamento.

A Figura 4.3 ilustra o conteúdo de um catálogo padrão de para-raios:

Figura 4.3. Exemplo de Catálogo de Para-raios

| Maximum Values                          |        |     |       |       |
|---|--------|-----|-------|-------|
| Nominal system voltage $U_n$            | kV     | 345 | 500   | 765   |
| Highest voltage for equipment $U_m$     | kV     | 362 | 550   | 800   |
| Maximum rated voltage $U_r$             | kV     | 288 | 468   | 612   |
| Maximum nominal discharge current $I_n$ | kA     | 10  | 20    | 20    |
| Maximum line discharge class            |        | 3   | 5     | 5     |
| Maximum energy absorption capability    | kJ/kVr | 8   | 13    | 25    |
| Maximum long duration current impulse   | A      | 850 | 1.600 | 5.500 |
| Rated short-circuit current             | kA     | 65  | 65    | 100   |
| Maximum permissible service load        | kNm    | 4.5 | 12.5  | 34    |

| Highest voltage for equipment    | Standard lightning impulse with stand voltage | Rated voltage | Continuous operating voltage | Line discharge class | Long durations current 2 ms | Maximum values of the residual voltages at discharge currents of the following impulses |                        |                        |                          |                        |                        |
|----------------------------------|---|---------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| $U_m$ (kV)                       | BILmin (kV)                                   | $U_r$ (kV)    | $U_c$ (kV)                   | LD-CI                | (A)                         | 8/20 $\mu$ s 5kA (kV)   | 8/20 $\mu$ s 10kA (kV) | 8/20 $\mu$ s 20kA (kV) | 30/60 $\mu$ s 0,5kA (kV) | 30/60 $\mu$ s 1kA (kV) | 30/60 $\mu$ s 2kA (kV) |
| 550 with solidly earthed neutral | 1.425   | 396           | 316                          | 4                    | 1.200                       | 875   | 931                    | 1.024                  | 754                      | 773                    | 810                    |
|                                  | 1.300   | 396           | 316                          | 5                    | 1.600                       | 865   | 911                    | 993                    | 747                      | 774                    | 802                    |
|                                  | 1.300   | 396           | 316                          | 5                    | 2.100                       | 839   | 883                    | 954                    | 742                      | 759                    | 786                    |
|                                  | 1.425   | 399           | 319                          | 4                    | 1.200                       | 882   | 938                    | 1.032                  | 760                      | 779                    | 816                    |
|                                  | 1.300   | 399           | 319                          | 5                    | 1.600                       | 872   | 918                    | 1.001                  | 753                      | 780                    | 808                    |
|                                  | 1.300   | 399           | 319                          | 5                    | 2.100                       | 846   | 890                    | 961                    | 748                      | 765                    | 792                    |
|                                  | 1.425   | 420           | 336                          | 4                    | 1.200                       | 928   | 987                    | 1.086                  | 799                      | 819                    | 859                    |
|                                  | 1.425   | 420           | 336                          | 5                    | 1.600                       | 918   | 966                    | 1.053                  | 792                      | 821                    | 850                    |
|                                  | 1.425   | 420           | 336                          | 5                    | 2.100                       | 890   | 937                    | 0.012                  | 787                      | 806                    | 934                    |
|                                  | 1.550   | 444           | 355                          | 5                    | 1.600                       | 970   | 1.021                  | 1.113                  | 837                      | 868                    | 898                    |
|                                  | 1.425   | 444           | 355                          | 5                    | 2.100                       | 941   | 990                    | 1.069                  | 832                      | 851                    | 881                    |

Como se pode ver, este catálogo contém 3 pontos de cada uma das curvas residuais (surto atmosférico e de manobra): o valor de  $U_m$  (550 kV), o valor de  $U_r$  (396, 399, 420 ou 444 kV) a classe de descarga (4 ou 5), o valor da tensão de operação contínua COV (316 a 355 kV) e o BIL (1300 a 1550 kV).

O item 9.6 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora

serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

## 4.8. Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente devem ser especificados com as suas características nominais, tensão e corrente, de acordo com as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital. No tocante à corrente nominal, deve ser mantida a coerência com os critérios adotados na especificação dos correspondentes valores nominais de disjuntores e chaves seccionadoras, com base nas análises conclusões e recomendações dos estudos na frequência fundamental e fluxo de potência nos barramentos das subestações.

Precisam ser especificados os enrolamentos secundários em núcleos individuais, tais como número de enrolamentos secundários de medição e proteção, relações de transformação, carga, exatidão, capacidade de curto-circuito simétrica e assimétrica.

A seguir, são apresentados os principais itens a observar na especificação dos transformadores de corrente, sendo destacadas as interfaces com os estudos elétricos.

- **Tensão Nominal:** deve ser especificada a tensão nominal do transformador de corrente (kV, eficaz – fase terra), em função da tensão nominal do sistema e da tensão máxima de operação contínua, de acordo com os resultados dos estudos elétricos de sistema e as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital.
- **Tensão Máxima por até 1 Hora:** é necessário especificar a tensão máxima (kV, eficaz), sob condições de emergência, correspondente à tensão a que os equipamentos terminais situados nas extremidades das linhas de transmissão possam submeter-se por até uma hora, conforme diretriz estabelecida no anexo técnico do edital.
- **Corrente Nominal e Fator Térmico:** a corrente nominal dos transformadores de corrente deve ser compatível com a máxima corrente possível, na indisponibilidade de outros componentes na subestação. Deve também levar em consideração as capacidades de curta duração de linhas de transmissão conectadas, as indisponibilidades externas em função das análises efetuadas nos estudos na frequência fundamental e o fluxo de potência nos barramentos da subestação, conforme apresentado nos itens 3.1.2 e 3.1.7 do presente documento.

Deve haver coerência com as correntes nominais especificadas para os disjuntores e chaves seccionadoras, localizados no mesmo vão.

Deve ser especificado o fator térmico para os transformadores de corrente.

- **Capacidade de Curto-circuito:** os transformadores de corrente devem ser dimensionados respeitando os valores mínimos de corrente suportável nominal de curta duração (corrente de curto-circuito simétrica) e o valor de crista da corrente suportável nominal (corrente de curto-circuito assimétrica), conforme definido no anexo técnico do edital. Os fatores de assimetria precisam ser especificados em função dos resultados do cálculo da assimetria da corrente de curto-circuito, conforme abordado no item 3.2.11 do presente documento.
- **Enrolamentos Secundários, Relações de Transformação, Carga, Exatidão:** essas características devem ser especificadas em função das necessidades dos sistemas de proteção e de medição das grandezas elétricas e medição de faturamento, quando aplicável. Deve ser explicitado o número de enrolamentos secundários destinados à proteção e medição.  
  
Os núcleos de proteção dos transformadores de corrente devem possuir classe de desempenho TPY ou TPZ, conforme estabelecido na Norma IEC 60.044-6 1992 (“Instrument transformers - part 6: Requirements for protective current transformers for transient performance”), considerando a constante de tempo primária (relação X/R) do ponto de instalação e o ciclo de religamento previsto, para que esses núcleos não saturem, durante curtos-circuitos e religamentos rápidos.
- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento é função da tensão nominal padronizada para o equipamento. Ela abrange:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de transitórios eletromagnéticos e a coordenação de isolamento.

O item 9.7 contém a planilha dos dados a encaminhar ao ONS, como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

## 4.9. Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial serão especificados de acordo com as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital, e nas normas em vigor aplicáveis (IEC 60044-5e ABNT NBR 6855:2009).

A seguir, são apresentados os principais itens a observar na especificação dos transformadores de potencial, sendo destacadas as interfaces com os estudos elétricos.

- **Tensão Nominal:** deve ser especificada a tensão nominal do transformador de potencial (kV, eficaz – fase terra), em função da tensão nominal do sistema e da tensão máxima de operação contínua, de acordo com os resultados dos estudos elétricos de sistema e as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital.
- **Tensão Máxima por até 1 Hora:** deve ser especificada a tensão máxima (kV, eficaz), sob condições de emergência, correspondente à tensão a que os equipamentos terminais situados nas extremidades das linhas de transmissão possam submeter-se por até uma hora, conforme diretriz estabelecida no anexo técnico do edital.
- **Enrolamentos Secundários, Relações de Transformação, Carga, Exatidão:** essas características devem ser especificadas em função das necessidades dos sistemas de proteção e de medição das grandezas elétricas e medição de faturamento, quando aplicável. Deve ser explicitado o número de enrolamentos secundários destinados à proteção e medição.
- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento é função da tensão nominal padronizada para o equipamento. Ela abrange:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de coordenação de isolamento.

O item 9.8 contém a planilha dos dados a ser encaminhados ao ONS, como resultado do projeto básico.

As características dos equipamentos já construídos e testados em seu recebimento pela Transmissora serão fornecidas ao ONS, na época da entrada em operação, por meio de um processo denominado “Como Construído”. Nesta fase os valores informados serão comparados àqueles informados na etapa de aprovação do projeto básico.

## 4.10. Compensação Estática Shunt (CER)

A compensação estática shunt — ou compensador estático de reativos (CER) — deve ser especificada e dimensionada tendo como diretriz o atendimento aos requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão, e também com base no estabelecimento das condições de contorno sistêmicas a partir dos estudos na frequência fundamental, transitórios eletromagnéticos e do estudo da determinação das características de impedância harmônica, vista do ponto de acoplamento comum (PAC) da Rede Básica, conforme apresentado no item 3.2.14 do presente documento.

Caberá ao fabricante apresentar o dimensionamento do CER a partir das características de contorno fornecidas pelo cliente. O fabricante deve fornecer os modelos computacionais do CER, com base nas características e parâmetros finais do equipamento, a ser utilizados em futuros estudos de sistema, com as ferramentas para estudos de fluxo de potência, de transitórios eletromecânicos e transitórios eletromagnéticos.

A seguir, são apresentados os principais itens a observar na especificação do CER.

- **Condições Gerais**

- O sistema de controle do compensador estático não pode comprometer o desempenho do SIN, tanto em operação normal como sob contingências, emergências e operação degradada, para os regimes permanente e transitório;
- O compensador estático não deve propiciar o surgimento de condições de ferorressonância, nem de saturação assimétrica de núcleos de transformadores;
- Para qualquer cálculo de harmônicos e filtros, devem ser consideradas as tolerâncias de fabricação das impedâncias dos transformadores elevadores do CER, incluindo as diferenças entre fases, bem como os valores especificados de tensão de sequência negativa da rede e da faixa de variação da frequência fundamental;
- O controle do CER precisa ser concebido de forma a evitar “hunting” com controles de outros CERs eletricamente próximos. As operações do sistema de controle de elementos manobráveis e/ou comutadores automáticos de transformadores (do compensador estático ou externos) não devem dar origem a oscilações intermitentes “hunting” entre estes elementos, nem entre nenhum deles e o controle do compensador;
- O controle do compensador estático será concebido de forma a contribuir para minimizar as perturbações no sistema elétrico, durante uma falta. O controle deve ser dimensionado considerando a necessidade de atuação do esquema de religamento monopolar;
- O controle do CER deve permitir a entrada de sinais de grandezas elétricas adicionais (fluxo de potência ativa, frequência, etc.), com o objetivo de modular, se necessário, a potência reativa do CER no sentido de amortecer oscilações de tensão, oscilações de potência na rede elétrica e ressonâncias subsíncronas;
- O controle do CER será projetado de forma a não comprometer a estabilidade de tensão da rede elétrica. Para tanto, deve identificar a sensibilidade da tensão da rede elétrica à variação da susceptância do CER, e adotar medidas corretivas no sentido

de evitar condições de instabilidade;

- Todos os equipamentos integrantes do CER serão dimensionados para suportar solicitações de curto-circuito na barra de conexão da Rede Básica, considerando os níveis de curto-circuito simétrico e assimétrico estabelecidos no anexo técnico do edital;
  - Deve ser possível ajustar a inclinação da rampa do controle do CER de forma contínua dentro da faixa de tensão operativa em regime permanente, conforme definida no anexo técnico do edital;
  - O ciclo de sobrecarga indutivo do CER deve ser especificado tomando como base os estudos de sistema, sobretensões transitórias e temporárias.
- **Tensão Nominal e Limites de Potência Reativa:** a tensão nominal do CER (kV), a faixa de tensão operativa em regime permanente (kV) e a capacidade nominal contínua em MVar, para tensão nominal, devem ser especificadas conforme diretriz estabelecida no anexo técnico do edital, e confirmadas pelos estudos elétricos de sistema.
  - **Desempenho Harmônico**
    - A avaliação do desempenho harmônico deve tomar como referência o envelope de impedância harmônica da rede CA externa ao CER, conforme abordado no item 3.2.14.2 do presente documento, considerando os diversos cenários de evolução da rede ao longo do período de concessão, nos patamares de carga leve, média e pesada, além das configurações de rede completa e degradada (n-1), e das configurações operativas do equipamento;
    - O desempenho harmônico precisa atender aos limites estabelecidos no submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede do ONS, considerando as condições de máxima dessintonia dos filtros e as condições mais severas de geração de correntes harmônicas pelos TCRs e TSCs;
    - Considere-se a possibilidade de operação da rede CA com desbalanço máximo de sequência negativa de 2,0%. Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle;
    - O desempenho harmônico, na perspectiva da distorção harmônica no ponto de acoplamento comum (PAC) com a rede básica, deve ser demonstrado por meio de estudos e de medições nos barramentos CA da rede básica conectados à subestação conversora, conforme estabelecido no submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede;
    - Não permitir que as correntes harmônicas nas linhas CA conectadas ao

CER produzam interferências em linhas telefônicas em operação, na data de comissionamento do CER, acima dos limites das normas correspondentes. Devem ser estabelecido os limites para os indicadores TIF (“Telephone Interference Factor”) e do produto IT do lado CA, visando a atingir tal requisito.

- **“Rating” dos Filtros Harmônicos:** para definição do “rating” dos elementos dos filtros, devem-se avaliar as harmônicas externas ao CER, considerando os valores limites estabelecidos em Tabelas publicadas no submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede do ONS, correspondentes aos limites globais e individuais.
- **Perdas Máximas:** as perdas máximas totais do CER, incluindo a potência de serviços auxiliares para refrigeração das válvulas e do transformador, serão especificadas de acordo com as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital.
- **Modelos para Programas Computacionais:** deve fazer parte da especificação do CER a solicitação do fornecimento, por parte do fabricante, dos modelos para os programas computacionais conforme a seguir:

Tabela 4.8: Modelos Computacionais para Estudos de Sistema.

| Aplicação                                | Programa Computacional               | Observação  |
|--|--------------------------------------|---|
| Estudos de Fluxo de potência             | Anarede                              |   |
| Estudos de transitórios eletromecânicos  | Anatem                               |   |
| Estudos de transitórios eletromagnéticos | ATP – Alternative Transients Program | O grau de detalhamento do modelo deve ser definido pelo fabricante, de modo a permitir a análise do desempenho do CER frente a surtos de manobra. |

- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento será em função da tensão nominal padronizada para os componentes do CER. Ela abrange:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de transitórios eletromagnéticos, e com a coordenação de isolamento.

## 4.11. Compensação Série (CS)

A compensação série deve ser especificada e dimensionada tendo como diretriz os requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital referente ao empreendimento objeto do leilão, e também com base no estabelecimento das condições de contorno sistêmicas a partir dos estudos de sistema,

dentre elas o valor das correntes de “swing” máximas — às quais ficam sujeitos os bancos de capacitores série, conforme abordado no item 3.2.15 do presente documento.

Caberá ao fabricante apresentar o dimensionamento da compensação série, a partir das características de contorno sistêmicas fornecidas pelo cliente.

O fabricante deve fornecer a memória de cálculo com o dimensionamento dos diversos componentes da compensação série.

A seguir, são apresentados os principais itens a observar na especificação da compensação série (CS).

- **Condições Gerais**

- A reatância capacitiva total do banco deve ser calculada e especificada com base no percentual de compensação da linha estabelecido neste anexo técnico do edital, assim como em seu comprimento, em função do projeto da linha de transmissão;
- A corrente de swing adotada no projeto do banco série deve ser a obtida por meio das simulações dinâmicas desenvolvidas na etapa dos estudos de sistema, conforme apresentado no item 3.2.15 do presente documento;
- A capacidade de sobrecarga deve atender à norma ou a valores superiores, quando os estudos de sistema assim o indicarem;
- A compensação série e seu esquema de proteção devem ser dimensionados considerando não apenas o ano de entrada em operação, mas também o ano horizonte de planejamento, tomando como referência os estudos de sistema realizados e os dados disponibilizados pela EPE e pelo ONS;
- As tolerâncias admitidas com relação à capacitância dos bancos de capacitores série são as seguintes:  $\pm 2,0\%$  por fase em relação ao valor especificado. Nenhum valor medido de quaisquer das três fases deve afastar-se mais de 1% do valor médio medido das três fases;
- O valor médio das perdas dielétricas de cada unidade capacitiva à tensão e frequência nominais, com resistor de descargas e à temperatura de 20°C, deve ser de, no máximo, 0,12 W/kvar para capacitores sem fusíveis internos, e 0,16 W/kvar para capacitores com fusíveis internos;
- O banco de capacitores série fixo não deve provocar o surgimento de fenômeno de ressonância subsíncrona na região onde será instalado, devendo ser estudada a possibilidade da sua ocorrência, quando justificado, conforme diretriz apresentada

no item 3.2.15.1 do presente documento;

- Nos casos em que o banco de capacitores série estiver conectado à subestação terminal de linha de transmissão, os equipamentos conectados ao terminal do banco no lado da LT — como reatores em derivação, transformadores de potencial, para-raios, equipamentos de onda portadora, etc. — deverão ser especificados para operar continuamente com a máxima tensão possível em regime permanente, a qual pode ser superior àquela indicada na Tabela 4 do submódulo 23.3. A tensão do lado de linha do terminal do banco de capacitores deve ser calculada considerando a máxima tensão operativa no barramento da subestação terminal e a máxima corrente especificada para a operação do referido banco.

- Devem ser previstos, nas estruturas que sustentam o banco série, o espaço e a capacidade mecânica de suportar uma futura ampliação da capacidade nominal do banco, conforme geralmente recomendado no anexo técnico do edital.

- **Características Específicas:** as características específicas, como a corrente nominal e a capacidade de suportar sobrecarga, devem atender aos requisitos estabelecidos no anexo técnico do edital, sendo compatíveis com as capacidades de longa e curta duração da linha de transmissão. Aplicam-se também com referência aos limites da norma IEC60143-1 “Series capacitors for power systems”, e o disposto no item 5.3.4, Tabela 2, do submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.
- **Requisitos dos Varistores dos Equipamentos de Compensação Reativa Série:** os varistores dos equipamentos de compensação reativa série deverão ser definidos levando em consideração todos os cenários e intercâmbios previstos, da configuração inicial ao ano horizonte de planejamento, bem como todos os tipos de falta.

Os requisitos de energia dos varistores serão definidos para condição de falta externa mais crítica, inclusive para a condição de linha paralela, quando existir, fora de serviço.

Não será permitida a atuação de dispositivos de proteção dos varistores para faltas externas ao banco série, à exceção dos seguintes casos específicos:

- Faltas externas eliminadas em tempo superior ao tempo máximo de eliminação de defeito em milissegundos –  $t_m$  (100 ms para  $V_N > 345$  kV e 150 ms para  $V_N < 345$  kV). Neste caso, o dispositivo de proteção dos varistores só poderá atuar  $t_m$  milissegundos, após a detecção da falta. O banco de capacitores série deve ser reinserido em até 300 ms após a eliminação da falta.

- Faltas externas trifásicas eliminadas em até  $t_m$  milissegundos, com religamento

malsucedido após 500 ms de tempo morto. Neste caso, o dispositivo de proteção dos varistores só poderá atuar após tm milissegundos da tentativa mal sucedida de religamento.

- **Documentação Exigida:** deve ser apresentada pelo fabricante a seguinte documentação:
  - Memória de cálculo do dimensionamento dos diversos componentes do “Main Circuit”;
  - Descrição do comportamento térmico do banco após aplicação de uma sequência de faltas e da atuação do by-pass, incluindo a curva de aquecimento/resfriamento do banco;
  - Estudo de dimensionamento do MOV do banco série e da definição dos ajustes de by-pass por corrente ou energia, a ser realizado no programa ATP (Alternative Transients Program);
  - Modelos de transitórios eletromagnéticos para a representação do banco série no programa ATP, em meio digital, e com a documentação correspondente.
- **Níveis de Isolamento:** a especificação dos níveis de isolamento será em função da tensão nominal padronizada para os componentes da CS. Ela abrange:
  - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico;
  - Tensão suportável impulso de manobra.

Os níveis de isolamento devem ser compatíveis com as conclusões e recomendações dos estudos de transitórios eletromagnéticos e de coordenação de isolamento.

## 5. Referências para Estudos e Equipamentos

- [5.1] Procedimentos de Rede do ONS - submódulo 23.3 Diretrizes e Critérios Para Estudos Elétricos, 25/09/2007;
- [5.2] D`Ajuz, Ari. e outros “Equipamentos Elétricos - Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão”. Rio de Janeiro, Furnas, 1985;
- [5.3] D`Ajuz, Ari. e outros “Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento – aplicação em sistemas de potência da alta tensão”, Rio de Janeiro, – Universidade Federal Fluminense /EDUFF – 1987,Niteroi;
- [5.4] Antônio Carlos C. de Carvalho et.all, Disjuntores e Chaves - aplicação em sistemas de potência,– Universidade Federal Fluminense /EDUFF – 1985,Niteroi;
- [5.5] Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers – Guide for Applications: Lines, Reactors, Capacitors, Transformers (1st Part, 2nd Part)”, publicados na Revista ELECTRA do Cigré, Nº 183/85, April/August 1999;
- [5.6] Alternative Transients Program (ATP) Rule Book, Leuven - Bélgica, 1987;
- [5.7] IEEE Application Guide for Transient Recovery Voltage for AC High-Voltage Circuit Breakers – IEEE Std C37.011;
- [5.8] Cigré-Brasil - CE A3 - Workshop Superação de Disjuntores por Tensão de Restabelecimento Transitória – Rio de Janeiro 03 a 04/08/2011;
- [5.9] XVII SNPTEE – Aplicação da Rotina Models e da Interface ATPDraw do Programa ATP/EMTP para o Cálculo dos Valores de Pico, dos Instantes de tempo correspondentes e da Taxa de Crescimento da Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT) em Disjuntores, bem como a impressão de Envoltórias de referência normalizadas –19 a 24 outubro 2003 – Uberlândia – MG;
- [5.10] The usage of ATP-TACS Subroutine in Calculation of Transient Recovery Voltage for Circuit Breakers: Direct Computation of Peak Values, Corresponding Times and Rate-of-Rise and Generation of Reference Envelopes – Jorge Amon Filho – Furnas Centrais Elétricas S.A - Brasil;
- [5.11] Critérios para Análise de Superação de Equipamentos de Alta Tensão: Disjuntores, Secionadoras, TC e Bobina de Bloqueio – Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS – Junho 2011;
- [5.12] ABNT NBR IEC 62271-100 – Equipamentos de alta-tensão Parte 100: Disjuntores de alta-tensão de corrente alternada;

[5.13] ABNT NBR IEC 62271-102:2006 - Equipamentos de alta-tensão Parte 102: Secionadores e chaves de aterramento;

[5.14] Cigre WG 33.02 - Guidelines for Representation of Network Elements when Calculating Transients; CIGRE Technical Brochure 39, 1990.

[5.15] IEC 60071-2, Insulation Coordination – Part 2: Application Guide, 3a. Edição, 1996.

[5.16] IEEE lightning and Insulator Subcommittee of the T&D Committee, Parameters of Lightning Strokes: A Review, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, N° 1, páginas. 346 a 358, 2005.

[5.17] CIGRE Study Committee 33, “Guide to Procedures for Estimating the Lightning Performance of Transmission Lines”, CIGRE Technical Brochure 63, 1991.

[5.18] F. Heidler and C. Hopf, “Measurement results of the electric fields in cloud-to-ground lightning in nearby Munich, Germany,” IEEE Trans.On Electromagnetics Compatibility, Vol. 40, No. 4, 1998.

## 6. Diretrizes e Critérios para Linha de Transmissão

A principal diretriz para o projeto de novas linhas de transmissão é considerar que serão integradas ao sistema existente e a ele deverão adaptar-se, sem comprometer ou limitar a sua operação, nem impor restrições operativas às demais instalações do SIN.

É importante ressaltar que o projeto básico de linhas de transmissão deve observar os requisitos definidos no Submódulo 2.4 dos Procedimentos de Rede, “Requisitos Mínimos para Linhas de Transmissão”. Além destes, precisam ser observados os requisitos definidos nos instrumentos de outorga da linha em questão, que, em caso de leilão da transmissão, são os Anexos Técnicos do Edital da Transmissão.

A seguir, são detalhados os pontos mais relevantes para constar de projetos básicos de linhas de transmissão, tendo em vista o processo de verificação da conformidade do projeto em relação aos requisitos dos Procedimentos de Rede e dos instrumentos técnicos de outorga.

### 6.1. Definição do Traçado Preliminar

Contribuem para a elaboração de um projeto básico robusto a análise das alternativas das possíveis rotas para a linha de transmissão e a escolha de um traçado preliminar — o mais próximo daquele a ser implantado na fase do projeto executivo da linha.

Durante a definição do traçado da linha, mesmo que preliminar, devem-se evitar interferências que possam prejudicar a construção, manutenção e operação da linha.

Alguns aspectos relacionados à escolha do traçado favorecem a implantação e manutenção da linha: a existência, na região, de infraestrutura para deslocamento de pessoal e transporte de materiais e equipamentos, tais como, rodovias, estradas e rios navegáveis, além da possibilidade de implantação de vias de acesso até a faixa de passagem; e a existência de terrenos planos ou pouco acidentados ao longo do traçado da linha.

Normalmente, o traçado preliminar da linha é definido com base nas informações advindas das cartas topográficas do IBGE, da Diretoria do Serviço Geográfico do Ministério do Exército ou de mapas gerados por ferramentas computacionais georeferenciadas, assim como a partir do conhecimento prévio das peculiaridades da região, adquirido no campo.

A planta do traçado da linha deve conter, ao menos, a tabela de vértices com suas respectivas coordenadas geográficas ou projeções cartográficas, o “datum” ou centróide de referência e a zona da projeção UTM (se for adotado o sistema de projeção). Além disso, caso a linha em projeto cruze com outras linhas da Rede Básica, devem constar as informações das linhas cruzadas, conforme lista específica indicada nos Anexos Técnicos (AT)[7.1] ou no item 7.8 do submódulo 2.4 dos

Procedimentos de Rede (SM 2.4)[7.2].

A tabela de vértices precisa conter a cota de cada vértice e as distâncias horizontais entre vértices (distância parcial ao vértice anterior e distância acumulada ao vértice de origem da linha).

Outras informações relativas ao traçado da linha poderão constar do projeto básico, tais como as relacionadas com: impacto ao meio ambiente (por exemplo: uso de estruturas mais elevadas para a transposição de áreas onde haja restrição à supressão de vegetação protegida por lei); proximidade a aeroportos ou aeroclubes; transposição de grandes rios, etc.

## 6.2. Levantamento dos Parâmetros Meteorológicos

Os parâmetros meteorológicos, necessários às avaliações elétricas e mecânicas do projeto básico, devem ser determinados, preferencialmente, com base nas informações oriundas das estações meteorológicas disponíveis na área de implantação do empreendimento.

Quando não houver medição disponível nas proximidades do empreendimento, os parâmetros meteorológicos poderão ser estimados com base nos dados das estações meteorológicas mais próximas ao empreendimento, ajustados em função da qualidade do dado ou das distâncias da linha às estações selecionadas.

As séries históricas de velocidade e direção do vento, temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade do ar são confeccionadas a partir dos registros oriundos das estações meteorológicas, coletados ao longo dos anos.

A frequência das descargas atmosféricas nuvem-solo pode ser obtida dos mapas de densidade (Ng) ou de nível cerâmico (TD), ou a partir dos registros de descargas capturados pelas redes de sensores de solo.

Dos AT[7.1] consta o seguinte requisito: “É de responsabilidade da TRANSMISSORA obter os dados, inclusive os descritivos das condições ambientais e geomorfológicas da região de implantação, a ser adotados na elaboração do projeto básico, bem como nas fases de construção, manutenção e operação das instalações”. Logo, cabe à TRANSMISSORA perseguir os dados mais representativos da região de implantação do empreendimento.

O projeto básico deve informar todos os dados meteorológicos necessários às avaliações elétricas e mecânicas da linha.

### 6.2.1. Temperatura Ambiente

Os dados de temperatura ambiente são utilizados, por exemplo, nas avaliações de capacidade de corrente do condutor e no cálculo mecânico dos cabos.

As temperaturas ambientes mais utilizadas nas avaliações do projeto básico são: mínima absoluta; média das mínimas diárias; média; média das máximas diárias e máxima absoluta. Dependendo da avaliação a ser feita no projeto básico, adota-se uma ou mais temperaturas ambientes. Por exemplo: na avaliação da capacidade corrente do condutor, é comum adotar a média das máximas diárias, enquanto que no cálculo mecânico dos cabos normalmente se utilizam as temperaturas mínima absoluta (tração máxima sem vento), média das mínimas diárias (tração máxima para o vento máximo) e média (tração de partida na condição mais frequente – EDS). Os valores de temperatura podem ser anuais ou relacionados a um período mais crítico do ano.

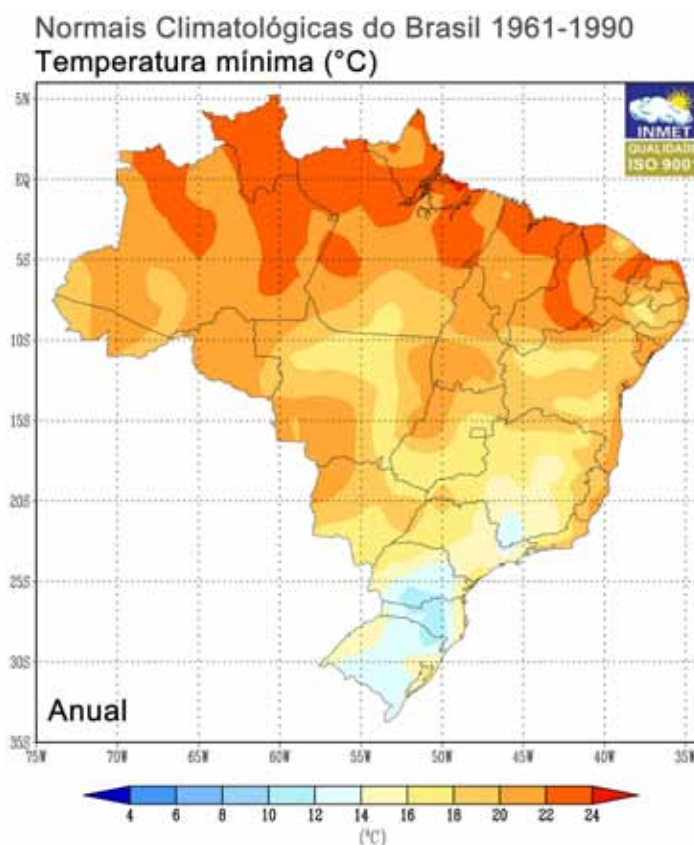
O INMET – Instituto Nacional de Meteorologia disponibiliza dados históricos de temperatura ambiente para a quase totalidade do país.

Uma forma de determinar as temperaturas ambientes de projeto é descrita a seguir.

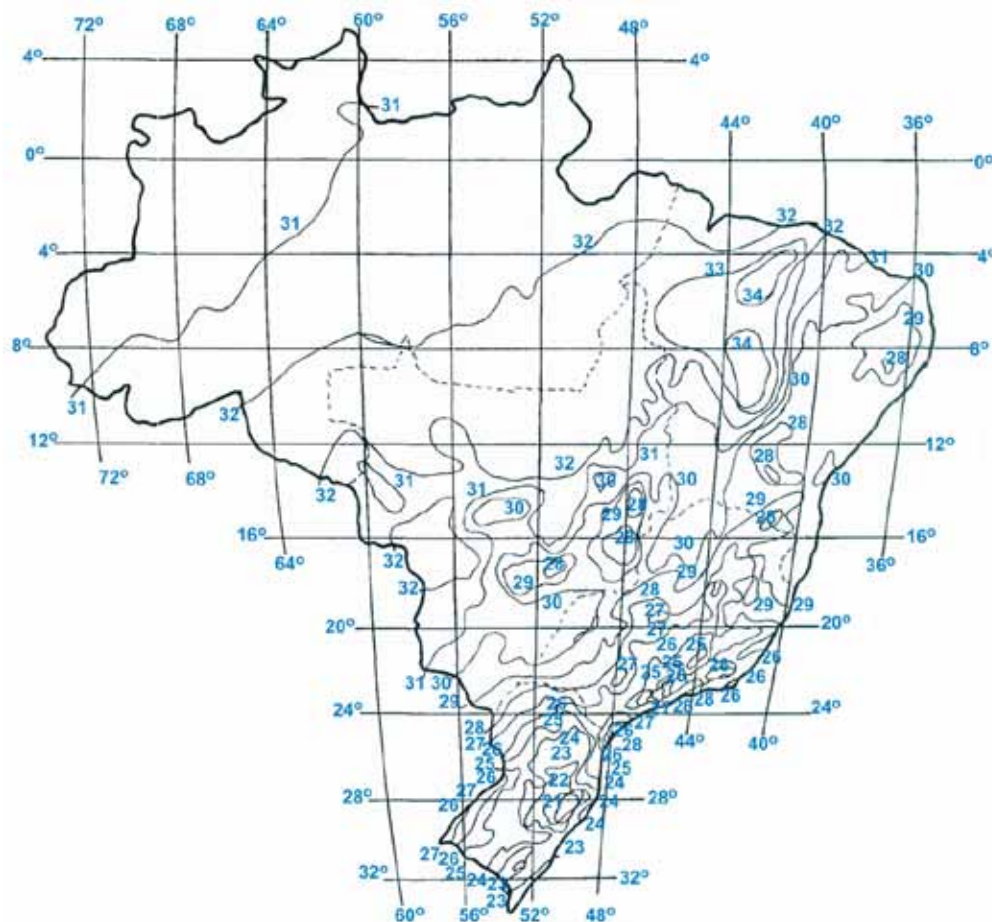
Selecionam-se as estações meteorológicas mais próximas do empreendimento, e, a partir das séries históricas dessas estações, levantam-se os perfis de temperatura ambiente ao longo da linha de transmissão por interpolação numérica. Com base nos perfis de temperatura levantados, são atribuídos valores para as temperaturas ambientes de interesse do projeto.

Outra forma, menos precisa, para estimar as temperaturas ambientes é por meio dos mapas de isotermas constantes do Anexo Ada NBR 5422[7.5], Figuras 23 a 27.

**Figura 6.1. Mapa do Brasil de Temperatura Mínima. Fonte: INMET.**



**Figura 6.2. Mapa do Brasil com Isotermas para a Temperatura Máxima Média. Fonte NBR 5422[7.5].**



### 6.2.2. Velocidade de Vento

Os dados de velocidade de vento, parametrizados em diferentes formas, são utilizados em várias análises do projeto básico, tais como: na avaliação da capacidade de corrente em regime permanente do condutor; no estudo de coordenação do isolamento das estruturas; na definição da largura da faixa de segurança; no cálculo mecânico dos cabos condutor e para-raios; e no dimensionamento mecânico das estruturas.

Algumas instituições de serviço público ou de pesquisa, em nível nacional, tais como o DECEA – Ministério da Aeronáutica, INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e o Climatempo, sob consulta, disponibilizam dados históricos de vento. Outras instituições com atuação regional também coletam dados de vento, como centros de pesquisas em agronomia ou agropecuária, defesa civil e empresas proprietárias de parques eólicos.

Tanto os AT[7.1] quanto o SM 2.4[7.2] informam que o cálculo das velocidades e pressões de vento, para o projeto mecânico da linha de transmissão, deve ser desenvolvido segundo a IEC 60.826[7.4]. Além disso, consta também que “para o projeto mecânico de uma linha de transmissão, os carregamentos oriundos da ação do vento nos componentes físicos da linha de transmissão devem

ser estabelecidos a partir da caracterização probabilística das velocidades de vento da região, com tratamento para fenômenos meteorológicos severos, tais como, sistemas frontais, tempestades, tornados, furacões, etc”.

Nas regiões do Brasil onde há registros de fenômenos meteorológicos severos, tais como a região oeste do Paraná e litorânea dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, por exemplo, a estimação das velocidades de vento de projeto deve ser mais criteriosa e munida de fatores de segurança robustos, dada a particularidade do fenômeno, principalmente quando se trata de ventos de alta intensidade como tornados.

Tratamento dos dados de vento – No tratamento dos dados de vento, geralmente se aplicam: o conceito da distribuição estatística de extremos de Gumbel no cálculo da intensidade do vento para um período de retorno correspondente, e para ajustar os valores espacialmente; e o método dos mínimos quadrados, que geralmente é mais conservador quando comparado ao método dos momentos ou da máxima verossimilhança.

Para cada estação meteorológica de interesse do projeto, são levantados o número de anos de coleta de dados e a série das velocidades máximas anuais a partir dos registros contidos nos históricos de velocidade de vento. Em seguida, são calculados o valor médio das velocidades máximas anuais e o respectivo coeficiente de variação de cada série. Do histórico de velocidades de vento também podem ser estimados os fatores de rajada do vento para os períodos de integração da média de 3s e 30s referenciados ao período de integração de 10 minutos. Podem ser adotados valores típicos regionais para o fator de rajada (30 s / 10 min) somente quando não há dado suficiente nos históricos de velocidades para a estimação desse fator de rajada.

Com os dados de vento das estações anemométricas e uma ferramenta computacional que trate e interpole esses dados, é possível gerar as isotacas da região, no entorno da linha de transmissão, para os períodos de retorno e de integração da média de interesse, que norteiam a estimação das velocidades de vento de projeto.

Vários valores de velocidade de vento de projeto são extraídos dos estudos de vento. Cada valor de vento de projeto se aplica a uma avaliação específica no projeto básico e está parametrizado na forma abaixo.

$$V_{p(T; t; h; cat)}$$

Onde:

T - provável período de retorno do vento

t - período de integração da média

h - altura de referência da medição

cat - categoria do terreno (letra que indica o grau de rugosidade do terreno ao longo da linha, conforme Tabela 1 da NBR 5422[7.5])

No projeto básico, devem indicar-se no mínimo os seguintes ventos de projeto:

**Tabela 6.1. Ventos de Projeto Adotados no Projeto Básico.**

| Vento de projeto                  | Período de retorno do vento (anos) | Período de integração da média (min. ou s) | Aplicação   |
|-----------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Extremo                           | 150 ou 250                         | 10 min.                                    | Cálculo estrutural e mecânico dos cabos                     |
| Tormentas elétricas               | 150 ou 250                         | 3 s  | Cálculo estrutural  |
| Para cálculo do ângulo de balanço | 50                                 | 30 s                                       | Determinação da largura da faixa de segurança               |
|                                   | 30                                 | 30 s                                       | Estudo de coordenação de isolamento (frequência industrial) |

Os AT[7.1] e o SM 2.4[7.2] determinam que “o nível de confiabilidade do projeto eletromecânico, expresso pelo período de retorno do vento extremo, deve ser compatível com um nível intermediário entre os níveis 2 e 3 preconizados na IEC 60.826[7.4]”. (Vide Tabela 3-3, abaixo.) “Deve ser adotado período de retorno do vento igual ou superior a 150 anos para LT de tensão nominal igual ou inferior a 230 kV e igual ou superior a 250 anos para LT de tensão superior a 230 kV”.

**Tabela 6.2. Níveis de Confiabilidade para Linhas de Transmissão.**

| Reliability Levels                                 | 1  | 2   | 3   |
|--|----|-----|-----|
| T. return period of climatic limit loads, in years | 50 | 150 | 500 |

### 6.2.3. Umidade Relativa do Ar e Pressão Atmosférica

A caracterização da média e do desvio padrão da densidade relativa do ar (DRA) e dos fatores de correção atmosféricos (FCAs), para frequência industrial e impulsos, é feita através da medição simultânea a cada hora (séries horárias) da temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica, medidas num período mínimo de 10 anos. As séries horárias de dados, para várias localidades do Brasil, encontram-se disponíveis na DECEA e no INMET.

### 6.2.4. Descargas Atmosféricas

Da NBR 5419[7.6] constam dois mapas ceráunicos: um mapa de curvas isoceráunicas para todo o Brasil, cujo levantamento é antigo, ou seja, feito no início do século passado; e outro mapa, mais recente, de curvas isoceráunicas para a região SUDESTE, elaborado a partir dos registros de contadores de descargas. Esses mapas informam valores de nível ceráunico (TD).

Recentemente, o ONS elaborou, em parceria com o INPE, o “Mapa de Densidade de Descargas Atmosféricas – Período de Apuração: 1998 – 2009”, para todo o território nacional, concebido a partir dos registros de descargas atmosféricas capturados do espaço pelo sensor LIS – Lightning

Image Sensor a bordo do satélite TRIMM – Tropical Rainfall Measuring Mission. Esse mapa informa valores de densidade de descargas atmosféricas (Ng).

Os dados de descargas atmosféricas são imprescindíveis à avaliação da blindagem dos cabos para-raios sobre os condutores, nas estruturas da linha e na avaliação do desempenho da linha de transmissão para este fenômeno atmosférico. Essas avaliações fazem parte do estudo de coordenação de isolamento das estruturas.

### 6.3. Escolha do Conductor

No atual modelo de expansão do setor elétrico, o Planejamento — por meio dos relatórios que tratam da análise técnico-econômica das alternativas estudadas (R1) e/ou do detalhamento da alternativa de referência (R2) — indica uma configuração básica para o empreendimento a ser licitado pela ANEEL, com desempenhos mínimos e características especiais. É praxe constar do R2 vários estudos de dimensionamento em regime permanente ou transitório. No caso das linhas de transmissão, um desses estudos é o de otimização do condutor para a configuração básica do empreendimento.

Entretanto, é permitido à TRANSMISSORA propor uma configuração alternativa à básica do empreendimento, desde que os desempenhos elétricos e mecânicos dessa nova configuração sejam iguais ou superiores aos da configuração básica. Dentro desse enfoque, permite-se ao empreendedor utilizar, na linha de transmissão, um condutor diferente do recomendado na configuração básica. Para tanto, é necessário constar do projeto básico todas as verificações e comprovações atinentes às metas de desempenho elétrico e mecânico do condutor.

Uma das avaliações elétricas do condutor a constar do projeto básico, que diz respeito à emissão eletromagnética, é a de perda por efeito corona. O AT[7.1] diz que “a linha de transmissão, com seus cabos e acessórios, bem como as ferragens das cadeias de isoladores, não deve apresentar corona visual em 90% do tempo para as condições atmosféricas predominantes na região atravessada pela linha de transmissão”. Nesta avaliação, é necessário o conhecimento das condições meteorológicas, em especial a densidade do ar, bem como a geometria do condutor na estrutura.

Também deverá constar do projeto básico o cálculo do valor da resistência de sequência positiva da linha, por unidade de comprimento, na temperatura de referência. O valor calculado dessa resistência deverá ser igual ou menor que o valor de referência para a configuração básica, conforme indicado no AT[7.1]. Nesta comprovação, devem-se adotar a geometria da estrutura mais recorrente ou típica da linha, os dados dimensionais e elétricos do condutor, os cabos para-raios e a resistividade média do solo. Preferencialmente, deve-se utilizar a rotina “Line Constants” do ATP – “Alternative Transients Program” no cálculo da resistência de sequência positiva da linha.

## 6.4. Cálculo das Capacidades Operativas

A REN 191[7.9], no seu Artigo 2º, itens I, II e III, define três capacidades operativas distintas para a linha de transmissão: a de longa duração, a de curta duração e a sazonal. No momento atual, as linhas de transmissão da Rede Básica são concebidas pelo Planejamento para operar nos regimes de longa e curta duração. Entretanto, consta dos AT[7.1] um requisito que diz respeito à LT operar com carregamento superior às capacidades de longa e curta duração, em condições climáticas comprovadamente mais favoráveis do que as estabelecidas no cálculo dessas capacidades, desde que as distâncias de segurança sejam respeitadas.

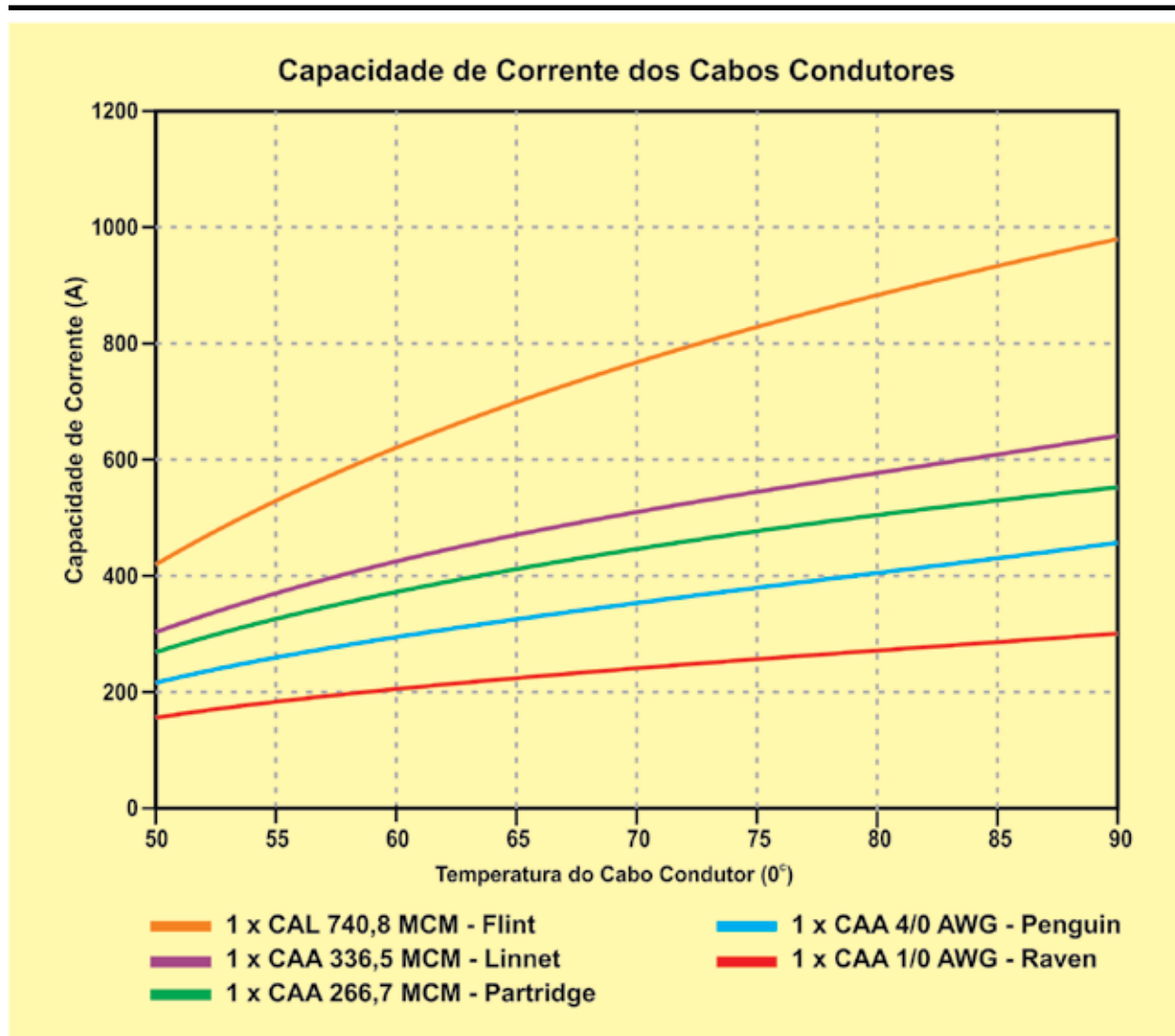
No regime de longa duração, entende-se que a linha opera, continuamente, em condições normais, preservando as distâncias de segurança do condutor ao solo e aos obstáculos, como definidas no item 10.3 da NBR 5422[7.5]. Já no regime de curta duração, a linha opera em condições de emergência por período de tempo limitado e as distâncias de segurança do condutor ao solo e obstáculos são reduzidas, quando comparadas com essas distâncias para a longa duração. A NBR 5422[7.5], no seu item 10.4, indica o método de cálculo das distâncias de segurança em condições de emergência para linhas de transmissão com tensão nominal de até 230 kV. Para níveis de tensão acima de 230 kV, não há um método previsto em norma brasileira. Para cobrir esta lacuna, os AT[7.1] determinam que, em tal condição operativa, as distâncias de segurança sejam calculadas conforme prescrição contida no NESC[7.8].

A verificação da capacidade de corrente de uma linha é feita, na maior parte dos casos, com base na equação de balanço térmico, em regime permanente ou estacionário, e considera a seguinte premissa: todo calor gerado internamente ao condutor e absorvido pelo do sol (ganho de calor) é trocado com o ambiente (perda de calor).

As parcelas que compõem o ganho de calor são aquelas devidas à passagem da corrente no condutor (efeito Joule) e à absorção da energia proveniente do sol. Já as parcelas que compõem a perda de calor para o ambiente são devidas à convecção e irradiação. A parcela de troca de calor por condução é, normalmente, considerada desprezível em relação às demais perdas.

Um método de cálculo da capacidade de corrente em regime permanente de condutores nus está descrito nas recomendações do WG 22-12 do CIGRÉ, publicadas na revista ELECTRA nº 144 de outubro de 1992.

Figura 6.3. Gráfico com Valores Típicos de Capacidade de Corrente de Condutores.



Os valores de referência das capacidades operativas de longa e de curta duração das linhas de transmissão a ser licitadas estão indicados nos AT[7.1]. Esses valores de referência são os mínimos para a linha e estão baseados nos resultados dos estudos desenvolvidos pelo Planejamento para o empreendimento, assim como no que determina a REN 191[7.9]. Do Artigo 4º desta resolução consta uma tabela com os fatores majorantes, utilizados no cálculo da capacidade operativa de curta duração de uma linha existente a partir do valor da capacidade operativa de longa duração e da temperatura de projeto (longa duração). A Tabela 3.4 reproduz os valores dos fatores majorantes indicados na REN 191[7.9].

Tabela 6.3. Fator para o Cálculo da Capacidade Operativa de Curta Duração – REN 191[7.9].

| Temperatura de Projeto (Graus Celsius) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 50   | 55   | 60   | 64   | 65   | 70   | 75   | 80   | 90   |
| Fator                                  | 1.42 | 1.33 | 1.26 | 1.24 | 1.23 | 1.19 | 1.17 | 1.15 | 1.12 |

O cálculo das capacidades operativas de longa e curta duração da linha, a constar no projeto básico, deve considerar a ocorrência simultânea das condições climáticas abaixo relacionadas:

- Temperatura máxima média;
- Radiação solar máxima;
- Brisa mínima, desde que não superior a um metro por segundo.

Os valores das capacidades operativas, informadas no projeto básico, não podem ser inferiores aos valores de referência indicados no AT[7.1]. No projeto básico também devem ser informadas as temperaturas máximas do condutor para os dois regimes operativos.

## 6.5. Cálculo da Capacidade de Corrente dos Cabos Para-raios e Definição dos Pontos de Troca de Bitola

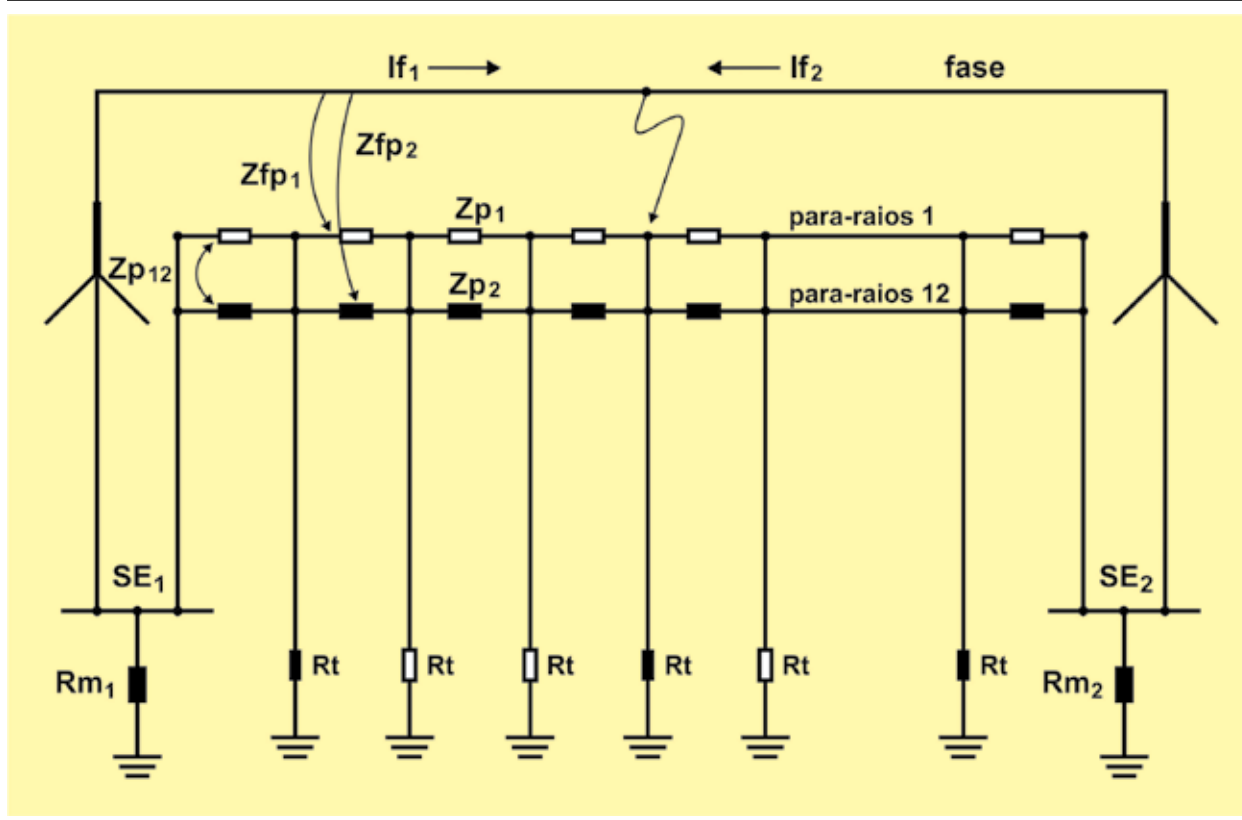
As correntes que circulam nos cabos para-raios e nas resistências de aterramento das estruturas podem ser determinadas, quando da ocorrência de um curto-circuito fase-terra na linha de transmissão, por simulação computacional. Essa simulação pode ser feita por meio do programa ATP – “Alternative Transients Program”, por programação em linguagem científica ou mesmo planilha eletrônica. Para tanto, é necessário definir um modelo com o circuito-terra da linha, as impedâncias e fontes equivalentes nos terminais da linha.

Os parâmetros do circuito-terra vão a vão podem ser calculados, conhecendo-se: os parâmetros elétricos dos cabos para-raios, próprios e mútuos, contidos na matriz longitudinal de fase da linha; as resistências de aterramento das estruturas; e os comprimentos dos vãos. Além disso, é necessário calcular as contribuições de corrente de curto-circuito, fase-terra, vindas das SEs terminais, no ponto de falta, com base nos equivalentes de Thevenin nas barras das SEs e impedâncias das fases.

A Figura 3.4 mostra um exemplo de circuito-terra para o cálculo das correntes circulantes nos cabos para-raios, quando da ocorrência de curto-circuito fase-terra num ponto da linha.

Como não se conhece a distribuição dos valores de resistências de aterramento das estruturas ao longo da linha, é comum adotar valores tais, para esse parâmetro, que ocasionem as maiores correntes circulantes nos cabos para-raios, para fins de dimensionamento.

Figura 6.4. Circuito Equivalente para Cálculo das Correntes Circulantes nos Cabos Para-raios.



Onde:

$I_{f1}$  e  $I_{f2}$  - Contribuições das correntes de curto-circuito no ponto de falta considerado

$Z_{p1}$  e  $Z_{p2}$  - Impedâncias próprias dos cabos para-raios nos vãos

$R_{m1}$  e  $R_{m2}$  - Resistências das malhas de terra das subestações

$R_t$  - resistências de aterramento das estruturas

$Z_{fp1}$  e  $Z_{fp2}$  - impedâncias mútuas entre a fase em falta e os cabos para-raios nos vãos

$Z_{p12}$  - Impedância mútua entre os cabos para-raios no vão

Devido aos elevados níveis de curto-circuito fase-terra nas barras das subestações, são especificados cabos de maior capacidade de corrente nos trechos de linha próximos às subestações terminais. Já no trecho intermediário da linha são especificados cabos para-raios de menor capacidade de corrente.

Cabe ao projeto definir os pontos de transição de bitola, ao longo da linha, entre os cabos para-raios de diferentes capacidades (pontos de troca), com base nas correntes de curto-circuito circulantes.

Para o dimensionamento dos cabos pára-raios ao longo da linha, é necessário conhecer os seguintes parâmetros:

- Correntes de curto-circuito, fase-terra, nas barras das subestações terminais da linha (valores normalmente informados nos AT[7.1]);
- Tempo de atuação da proteção de retaguarda (valor não superior a 0,5s);

- Temperatura máxima dos cabos para-raios. Essa temperatura varia em função do tipo de cabo para-raios utilizado.

Constam da NBR 8449[7.7] ábacos que informam a máxima corrente circulante nos cabos para-raios mais usuais em linhas de transmissão — em função do tempo de atuação da proteção de retaguarda — e as temperaturas inicial e final do condutor.

Na maior parte dos projetos, considera-se que os cabos para-raios são aterrados em todas as estruturas da linha e conectados nas malhas das subestações terminais.

### 6.5.1. Cálculo da Capacidade de Corrente dos Cabos Para-raios de Nova Linha de Transmissão

A avaliação da capacidade de corrente dos cabos para-raios deve ser feita nas duas extremidades da linha, exceto se houver simetria no circuito e das contribuições de curto-circuito. A avaliação deve conter as seguintes verificações:

- **Verificação das capacidades de corrente dos cabos para-raios nas proximidades das subestações terminais da linha:** para um arranjo de cabos pára-raios preconcebido, simula-se um curto-circuito fase-terra na primeira estrutura a partir da subestação terminal, quantificando as contribuições de corrente vindas das SEs e a sua distribuição nos cabos pára-raios e nas resistências de aterramento das estruturas. Em seguida, verifica-se o arranjo de cabos pára-raios preconcebido, no vão crítico, em termos de capacidade de corrente. Caso se constate superação de um ou mais cabos para-raios do arranjo, cabos de maior capacidade de corrente deverão ser utilizados no trecho, por certa extensão, a partir da qual se faz a troca por cabos de menor capacidade, até que a instalação esteja adequada no que diz respeito à capacidade de corrente.
- **Verificação das capacidades de corrente dos cabos para-raios nas proximidades do ponto de troca de cabo para-raios:** simula-se um novo curto-circuito fase-terra com a respectiva quantificação das contribuições de corrente oriundas das SEs, na primeira estrutura após o ponto de troca inicialmente arbitrado, no trecho com cabos para-raios de menor capacidade de corrente. Com base na distribuição da corrente de curto-circuito entre os cabos pára-raios e as resistências de aterramento das estruturas, é feita a verificação de capacidade de corrente dos cabos. O ponto de troca de bitolas ideal deve ser estabelecido de forma a garantir que, na ocorrência de uma falta nos cabos de menor condutividade, as máximas correntes circulantes nesses cabos de menor condutividade devem ser inferiores à capacidade de corrente dos referidos cabos.

Os cálculos da corrente de curto-circuito fase-terra e suas contribuições, assim como os relativos à

distribuição da corrente de falta nos cabos para-raios e estruturas, devem adotar as premissas que acarretem as situações mais desfavoráveis à verificação da capacidade de corrente — seja devido ao valor das impedâncias de sequência zero da linha e do sistema, seja devido aos acoplamentos da fase em falta com os cabos para-raios.

### 6.5.2. Verificação das Capacidades de Corrente dos Cabos Para-raios Existentes de Linha de Transmissão Seccionada

Nos casos de seccionamento de linha de transmissão existente, os cabos para-raios dos trechos de linha entre o ponto de seccionamento e a nova subestação devem ser dimensionados de forma idêntica aos de uma nova linha de transmissão. Já os cabos para-raios existentes de linha seccionada devem ser avaliados, em termos de capacidade de corrente, nas imediações do ponto de seccionamento, com base no nível de curto-circuito fase-terra na barra da nova subestação. Essa avaliação deverá ser feita, em duas etapas, conforme abaixo descrito:

- **Primeira etapa:** verificação dos cabos para-raios existentes nas imediações do ponto de seccionamento, com base no nível de curto-circuito estimado para um horizonte de médio prazo. A verificação dos cabos para-raios existentes de linha a ser seccionada deve ser feita, numa primeira etapa, considerando-se a corrente de curto-circuito fase-terra, na barra da subestação a ser implantada, indicada no AT[7.1], na tabela de correntes de curto-circuito, coluna “Verificação”. O valor dessa corrente é calculado com base no nível de curto-circuito, nesse ponto da rede, indicado no horizonte dos estudos do PAR – Plano de Ampliações e Reforços do ONS, vigente na época do Leilão. Caso essa verificação conclua que haverá superação dos cabos para-raios existentes, deve ser feito novo dimensionamento, conforme descrito no item abaixo, segunda etapa. Caso contrário, a configuração de cabos para-raios existentes da linha a ser seccionada poderá ser mantida e a segunda etapa da avaliação dispensada.
- **Segunda etapa:** dimensionamento dos cabos para-raios existentes nas imediações do ponto de seccionamento, com base na corrente suportável nominal de curta duração dos disjuntores de linha. A segunda etapa da avaliação consiste no dimensionamento dos cabos para-raios existentes na linha a ser seccionada, em termos de capacidade de corrente (caso a primeira etapa conclua pela superação dos cabos), considerando uma corrente de curto-circuito fase-terra, na barra da subestação a ser implantada, cujo valor está indicado no AT[7.1], tabela de correntes de curto-circuito, coluna “dimensionamento”; esse valor corresponde à corrente nominal de curta duração dos disjuntores da saída de linha. Neste caso, deverá constar do projeto básico a proposição de um novo arranjo de cabos para-raios da linha existente, nas proximidades do ponto de seccionamento, que suporte, sem

dano, a circulação da corrente quando da ocorrência de curto-circuito, de forma a garantir, ao menos, o seu desempenho original.

Quando solicitado expressamente no AT[7.1], deverá ser feita a verificação e/ou o dimensionamento dos cabos para-raios da LT seccionada nas proximidades da(s) SE(s) existente(s). Nesses casos, a(s) corrente(s) de curto-circuito fase-terra, na(s) barra(s) da(s) subestação(ões) existente(s), também estará(ão) indicada(s) no AT[7.1].

## **6.6. Avaliação das Perdas de Potência Ativa no Condutor e nos Cabos Para-raios**

### **6.6.1. Perda de Potência Ativa no Condutor**

Os estudos do Planejamento indicam uma configuração básica, norteadas pela solução mais econômica para a expansão do sistema. Com base nessa configuração, os AT[7.1] determinam um valor máximo para a resistência de sequência positiva por unidade de comprimento da linha de transmissão, na frequência nominal de 60 Hz e na temperatura de referência. No projeto básico, o valor da resistência de sequência positiva deverá ser comprovado por meio da simulação dos parâmetros elétricos da linha para a temperatura de referência indicada no AT[7.1].

### **6.6.2. Perda de Potência Ativa nos Cabos Para-raios**

Os AT[7.1] determinam que a perda de potência ativa nos cabos pára-raios seja de, no máximo, 5% do valor da perda de potência ativa nos condutores, em qualquer modo de operação.

Essa demonstração deverá ser feita por meio de cálculo ou simulação computacional, considerando a disposição dos cabos condutores e para-raios na estrutura típica e arranjo de cabos para-raios, conforme definido no estudo de capacidade de corrente dos cabos para-raios.

## **6.7. Avaliação dos Desequilíbrios de Tensão e Transposição das Fases**

Os AT[7.1] determinam que “as linhas de transmissão de comprimento igual ou superior a 100 km devem ser transpostas com um ciclo completo de transposição, de preferência com trechos de 1/6, 1/3, 1/3 e 1/6 do comprimento total”. Além disso, consta também que “deve ser avaliada e justificada no projeto básico pela TRANSMISSORA a forma adequada de transposição de um dos circuitos em relação ao outro, no sentido de não inviabilizar os religamentos monopolar e tripolar dessas linhas”.

Devem ser verificados os desequilíbrios de tensão nas linhas de transmissão com comprimento inferior a 100 km e não transpostas. Esses desequilíbrios, para a linha a vazio e a plena carga, não

podem ser superiores a 1,5%. As avaliações de desequilíbrio precisam ser justificadas por cálculo ou simulação.

Linhas de transmissão em paralelo, na mesma faixa de passagem ou em faixas contíguas ou linhas de circuito duplo, que porventura necessitem ser transpostas, devem ter os ciclos de transposição com sentidos opostos.

Nos casos de seccionamento de linha de transmissão existente, devem ser verificados os desequilíbrios de tensão na barra da nova subestação com a mesma tensão da linha, considerando o ciclo de transposição da linha existente, se implantado. Caso sejam constatados desequilíbrios de tensão acima de 1,5% na barra da nova subestação, para linha a vazio ou a plena carga, o projeto básico deverá propor uma solução que adeque a instalação em termos desse indicador de qualidade.

## **6.8. Estudo de Coordenação de Isolamento e Definição dos Espaçamentos Fase-terra e entre Fases no Topo da Estrutura**

O isolamento de uma linha de transmissão se faz por meio das cadeias de isoladores e dos espaçamentos fase-terra e fase-fase, em ar. O projeto básico deve conter o estudo de coordenação de isolamento das estruturas, o qual normalmente se divide em três partes distintas e relacionadas com o tipo de solicitação elétrica, a saber: solicitação por tensão em regime permanente à frequência nominal; solicitações por manobras de energização e religamento da linha; solicitação devido à incidência de descargas atmosféricas na linha.

Para cada tipo de solicitação elétrica, considera-se um ângulo de balanço máximo da cadeia de isoladores, devido à ação do vento no condutor e uma deflexão máxima da linha na estrutura. Para cada tipo de solicitação elétrica, espera-se um desempenho mínimo da linha de transmissão.

### **6.8.1. Determinação do Ângulo de Balanço da Cadeia de Isoladores**

A determinação do ângulo de balanço da cadeia de isoladores — para avaliação dos espaçamentos fase-terra, em regime permanente à frequência nominal — deve ser feita segundo a metodologia constante do item 10 da NBR 5422[7.5], ressaltando-se o seguinte aspecto: o item 10.1.4.1 da referida norma determina que, nesse tipo de avaliação, o período de retorno do vento seja de, no mínimo, 10 anos. Já os AT[7.1] e o SM 2.4[7.2] recomendam um valor mais elevado para o período de retorno do vento, ou seja, 30 anos, no mínimo, visando a proporcionar maior segurança à instalação contra desligamentos por perda de isolamento devido à ação do vento no condutor.

Nas avaliações em regime transitório (manobras e descargas atmosféricas) não há um requisito que defina o período de retorno mínimo do vento a ser considerado no cálculo dos ângulos de balanço da cadeia de isoladores. Os projetos, em geral, adotam valores reduzidos de vento (vento frequente)

nas avaliações de desempenho frente às manobras de energização e religamento e sem vento (cadeia em repouso) nas avaliações de desempenho frente à incidência de descargas atmosféricas.

### 6.8.2. Desempenho da LT à Tensão na Frequência Nominal do Sistema

O desempenho da linha de transmissão à frequência nominal (frequência industrial) deverá ser calculado com base na tensão máxima operativa, no comprimento da penca de isoladores e ângulo de balanço máximo da cadeia de isoladores.

O número de isoladores da cadeia, em função do tipo (normal ou antipoluição), deve ser selecionado com base nas recomendações da IEC 60.815[7.3], para o nível médio de poluição da região de implantação da linha, e a distância de escoamento mínima a ser adotada deverá ser de 14 mm/kV eficaz fase-fase, conforme prescrito no AT[7.1] e no SM 2.4[7.2].

A probabilidade de perda do isolamento (escorvamento) de um “gap” de ar à frequência industrial é, em geral, representada por uma distribuição normal, com média [U50%] e desvio-padrão [] conhecidos.

Para um bom desempenho da linha, recomenda-se que os espaçamentos, em ar, na estrutura, suportem tensões correspondentes a dois ou três desvios padrões abaixo da tensão crítica de escorvamento, ou seja:

$$U_s = U_{50\%}(1 - n \cdot \sigma)$$

Onde:

$U_s$  – tensão suportável do isolamento em ar [kVp fase-terra]

$U_{50\%}$  – tensão crítica de escorvamento [kVp fase-terra]

$\sigma$  – desvio padrão

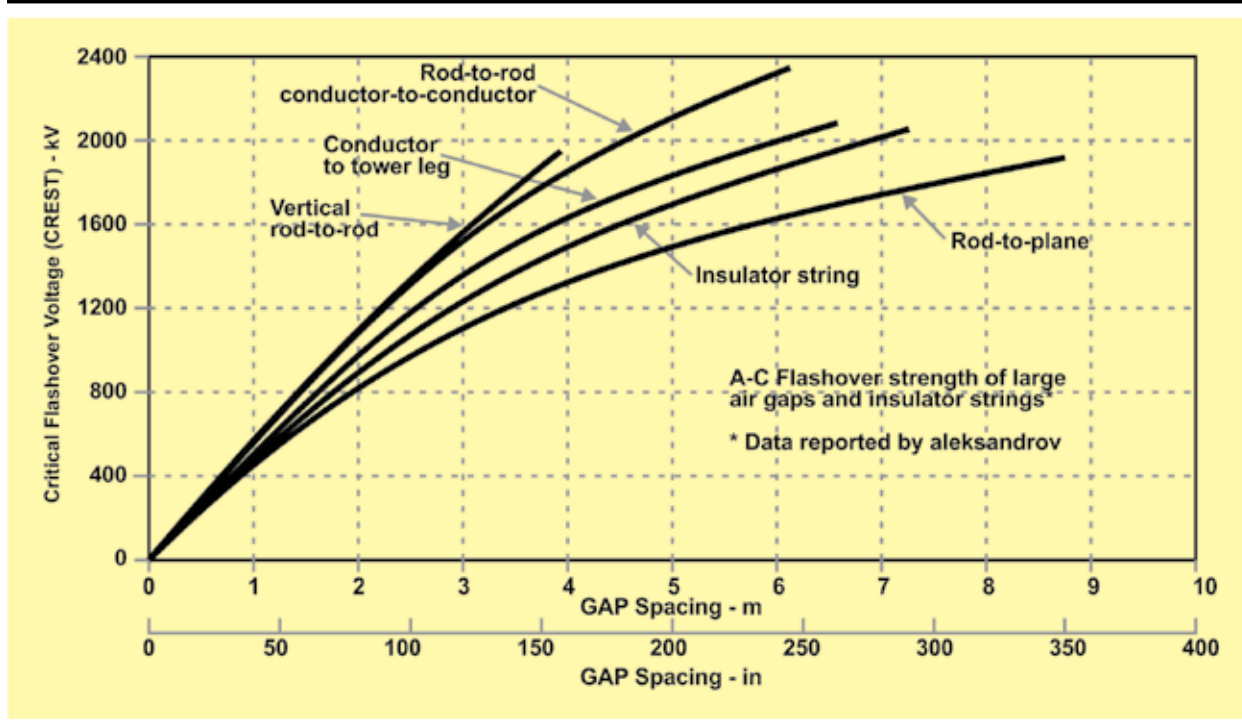
$n$  – número de desvios padrões adotados na análise (2 ou 3, a critério do projeto)

O cálculo da tensão crítica de escorvamento, nas condições atmosféricas padrão, parte da premissa de que a tensão suportável do isolamento em ar seja numericamente igual à tensão máxima operativa do sistema, em valores fase-terra.

A tensão crítica de escorvamento, para as condições atmosféricas reais da linha, deve ser corrigida com base no fator de correção atmosférico da região da linha (FCA). A partir daí, é possível determinar as distâncias mínimas fase-terra em função dos tipos de “gap” de ar encontrados no topo da estrutura.

As distâncias de isolamento à frequência nominal do sistema podem ser determinadas com base na tensão crítica de escorvamento, a partir da Figura abaixo, extraída do livro “Transmission Line Reference Book – 345 kV and Above”.

Figura 6.5. Tensão Crítica de Escorvamento em Função do Comprimento do “Gap”. Transmission Line Reference Book – 345 kV and Above.



### 6.8.3. Desempenho da LT às Sobretensões de Manobra

O dimensionamento dos espaçamentos condutor-estrutura e a análise de risco de falha da linha, por solicitações elétricas devidas às manobras de energização e religamento, devem ser efetuados com base nas distribuições estatísticas das sobretensões e na distribuição de probabilidade de escorvamento dos “gaps” em ar fase-terra.

Os AT[7.1] determinam que “a sobretensão máxima adotada no dimensionamento dos espaçamentos elétricos das estruturas deverá ser, no mínimo, igual à maior das sobretensões indicadas nos estudos de transitórios eletromagnéticos”. Além disso, os riscos de falha da linha não deverão ser superiores aos valores indicados no item “isolamento para manobras” dos AT[7.1] e reproduzidos na Tabela 3-5, abaixo.

Tabela 6.4: Risco Máximo de Falha, por Circuito, em Manobras de Energização e Religamento.

| Manobra     | Risco de Falha (adimensional) |           |
|-------------|-------------------------------|-----------|
|             | Fase-Terra                    | Fase-Fase |
| Energização | $10^{-3}$                     | $10^{-4}$ |
| Religamento | $10^{-2}$                     | $10^{-3}$ |

No projeto básico, é necessário informar as sobretensões máximas adotadas nos cálculos, a identificação dos casos dos estudos de transitórios eletromagnéticos que levam às sobretensões máximas, os métodos de cálculo adotados na determinação dos espaçamentos das análises de risco, bem como os resultados das simulações.

#### **6.8.4. Desempenho da LT às Descargas Atmosféricas**

O desempenho da linha devido às descargas atmosféricas precisa ser determinado com base nos seguintes parâmetros: atividade cerâmica; tipo de solo da região; geometria dos cabos condutores e para-raios para a estrutura típica; e distribuição de probabilidade de escorvamento da linha para esse tipo de fenômeno.

Devem ser determinados, separadamente, os desempenhos da linha por falha da blindagem (número de desligamentos da linha por descargas diretas no condutor) e por “backflashover” (número de desligamentos da linha associados à incidência de descargas na estrutura ou nos cabos para-raios).

A atividade cerâmica atribuída à região de implantação da linha de transmissão deve estar referenciada a uma fonte de dados confiável e atual. É aconselhável fazer uma investigação geológica para identificar o solo típico da região, a fim de ser estimado um valor consistente de resistividade média do solo, para que a resistência de aterramento adotada nas simulações de desempenho esteja compatível com o sistema de aterramento previsto para as estruturas.

Os AT[7.1] determinam que o número total de desligamentos por descargas atmosféricas deve ser de, no máximo, um desligamento por 100 km por ano, para linhas com tensão nominal igual ou superior a 345 kV, e de dois desligamentos por 100 km por ano, para linhas com tensão nominal igual ou inferior a 230 kV. O número de desligamentos da linha por falha de blindagem deverá ser de no máximo 0,01 desligamentos por 100 km por ano, independentemente do nível de tensão.

Como dado de entrada, devem constar da documentação do projeto básico — referente à comprovação do desempenho da instalação frente às descargas atmosféricas — as coordenadas dos condutores e cabos para-raios (silhueta da estrutura típica), a densidade de descargas atmosféricas da região, a distância de disrupção (strike distance) mínima ou a tensão crítica de escorvamento do isolamento e a resistência de aterramento das estruturas (valor médio ou a distribuição dos valores). Além disso, devem constar as premissas assumidas, o método de cálculo, a análise da blindagem dos cabos para-raios sobre os condutores e os resultados dos desempenhos encontrados.

## 6.9. Cálculo dos Parâmetros Elétricos

Os parâmetros elétricos da linha são de suma importância na fase do projeto básico da linha e nos estudos de sistema (fluxo de potência e curto-circuito), assim como, posteriormente, nas análises desenvolvidas na etapa pré-operacional do empreendimento.

Preferencialmente, os parâmetros elétricos devem ser calculados por meio da rotina “Line Constants” do ATP – “Alternative Transients Program”. Devem ser adotadas, na simulação dos parâmetros elétricos, a geometria da estrutura típica da linha e a altura média dos cabos. Além disso, o valor da resistência do cabo condutor, como dado de entrada, deverá estar corrigido para a temperatura de referência, indicada no AT[7.1]. O tipo de conexão dos cabos para-raios nas estruturas (se isolado ou solidamente aterrado) também precisa ser considerado na simulação.

Da listagem com os dados de saída da simulação devem constar, na forma matricial, por circuito da linha, todos os parâmetros longitudinais e transversais de fase (com e sem cabos para-raios eliminados) e os parâmetros de sequência.

No caso de linha de transmissão de circuito duplo ou de linhas em paralelo, mesmo que em tensões diferentes, a simulação dos parâmetros elétricos irá considerar os circuitos mais acoplados. Devem estar identificados nas listagens todos os parâmetros próprios e mútuos, inclusive aqueles entre circuitos.

## 6.10. Determinação da Largura da Faixa de Passagem

A largura da faixa de passagem de uma LT será dimensionada de forma a atender aos seguintes critérios:

- Manter distância segura entre os condutores das fases externas da linha e o limite da faixa de passagem ou das fases de outro circuito em paralelo, na condição de balanço máximo dos cabos, devido à ação do vento, de modo a evitar desligamentos por perda do isolamento à máxima tensão operativa;
- Garantir que os níveis de campo elétrico e campo magnético, dentro e fora da faixa, atendam ao que está estabelecido na REN 398[7.10];
- Manter os níveis de rádio interferência e ruído audível, no limite da faixa de passagem, dentro de valores limites especificados no AT[7.1] e no SM 2.4[7.2].

No caso do balanço máximo do condutor, em virtude da ação do vento, serão consideradas as seguintes condições nos cálculos: pressão de vento com período de retorno de, no mínimo, 50 anos, na altura média da fase mais alta ou outra posição mais severa; vão típico; e relação vão de peso por vão de vento mais desfavorável. Nos grandes vãos da linha (por ex: grandes travessias), a largura

da faixa deve ser reavaliada de forma a garantir o isolamento, na condição de balanço máximo do condutor.

Admitindo-se que o projeto básico da linha irá adotar, na avaliação dos campos elétrico e magnético, os níveis de referência indicados no Quadro 1 da REN 398[7.10], o cálculo desses campos precisa considerar as seguintes premissas, conforme parágrafo 1º do Artigo 6º da referida resolução:

- Tensão nominal da linha;
- Temperatura máxima do condutor admissível de projeto (entende-se que seja aquela associada à capacidade de curta duração da linha);
- Carregamento máximo do condutor para os regimes de operação e emergência;
- Distância mínima do condutor ao solo (entende-se que seja a altura do condutor ao solo, na temperatura máxima e a linha em regime de curta duração);
- Configuração típica dos circuitos e sequência de fases associadas;
- 1,5 m de altura do nível do solo para a população em geral.

Nessas condições, os níveis de campo elétrico e magnético deverão ser iguais ou inferiores aos níveis de referência estabelecidos na REN 398[7.10].

Nas avaliações de rádio interferência e ruído audível, deve ser adotada a máxima tensão operativa.

### **6.11. Cálculo das Distâncias de Segurança Condutor ao Solo e Condutor aos Obstáculos**

O cálculo das distâncias mínimas do condutor ao solo ou aos obstáculos, em condições normais de operação, deve ser feito como determina o item 10.3 da NBR 5422[7.5] para a linha operando com máxima tensão operativa.

O cálculo das distâncias mínimas do condutor ao solo ou aos obstáculos, em condições de emergência, deve ser feito como determina o item 10.4 da NBR 5422[7.5], para linhas com tensão máxima operativa igual ou menor a 242 kV. Para linhas com tensão máxima operativa superior a 242 kV, serão adotadas as prescrições contidas no NESC[7.8].

No caso de travessias sobre rodovias, precisam ser consideradas, adicionalmente, as recomendações do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

No caso de travessias sobre rios navegáveis, devem ser consideradas, adicionalmente, as recomendações da Capitania dos Portos do estado onde se encontra a travessia. A altura do maior mastro de embarcação a ser considerado no projeto da travessia é definida pela autoridade da capitania dos Portos.

No caso de travessias sobre matas ciliares e de preservação permanente, é necessário manter uma distância mínima de segurança, conforme prescrito no item 13.2 da NBR 5422[7.5].

## 6.12. Cálculo Mecânico dos Cabos

O cálculo mecânico dos cabos deverá ser feito para o condutor e cabos para-raios da linha de transmissão, de forma a avaliar o comportamento mecânico desses componentes quando submetidos à ação do vento e à variação de temperatura.

São utilizados os seguintes parâmetros meteorológicos, no cálculo mecânico:

### 6.12.1. Temperaturas Ambientes Adotadas nas Avaliações de Desempenho Mecânico

As temperaturas ambientes utilizadas nas avaliações de desempenho mecânico dos cabos são: a mínima absoluta; a média das mínimas diárias (temperatura coincidente com o vento máximo); e a média anual ou mais frequente ou EDS (“every day stress”).

Na condição de partida do cálculo mecânico dos cabos, é praxe assumir a temperatura ambiente igual à média anual. Já na avaliação dos esforços mecânicos máximos nos cabos, são adotadas duas temperaturas ambientes distintas: a mínima absoluta e a média das mínimas diárias (nas condições de vento extremo e máximo). Normalmente é assumido que não há ação de vento sobre os cabos na condição de partida e na avaliação de esforço máximo à temperatura mínima.

### 6.12.2. Velocidades de Vento de Projeto

Os tipos de vento adotados no cálculo mecânico dos cabos são denominados por vento extremo e vento máximo para o cálculo do balanço dos cabos.

No caso do vento extremo, o período de retorno a ser considerado é de 250 anos para linhas com tensão nominal superior a 230 kV e de 150 anos para linhas com tensão nominal igual ou inferior a 230 kV. O período de integração da média padronizado para esse tipo de vento é de 10 minutos.

No caso do vento máximo para o cálculo do balanço dos cabos, o período de retorno a ser considerado é de 50 anos.

Os AT[7.1] estipulam como limites de tração nos cabos, na ocorrência dos ventos extremo e máximo para cálculo do balanço dos cabos, os percentuais de 70% e 50% da carga de ruptura do cabo, respectivamente.

### 6.12.3. Condições de Governo dos Cabos

As condições de tracionamento do condutor, normalmente utilizadas no cálculo mecânico, são as indicadas na Tabela a seguir:

Tabela 6.5.

| Condição de tracionamento                      | Tração máxima admissível (% CR) | Temperatura ambiente (0°C)     | Vento atuante               | Curva tensão x deformação |
|--|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Temperatura média ou EDS (condição de partida) | (1)                             | Média                          | Sem vento                   | Final com "creep"         |
| Temperatura mínima                             | 33                              | Mínima abs.                    | Sem vento                   | Inicial                   |
| Vento máx. para balanço                        | 50                              | Coincidente com o vento máximo | Máx. balanço <sup>(2)</sup> | Final com "creep"         |
| Vento extremo                                  | 70                              | Coincidente com o vento máximo | Extremo <sup>(3)</sup>      | Final com "creep"         |

(1) Valor estipulado pelo projeto com base no tipo de cabo e no número de subcondutores por fase. Valor vinculado ao estudo de vibrações eólicas.

(2)  $V$  (50 anos, 10 min.,  $h_{\text{cabo}}$ , cat.).

(3) 230 kV  $\rightarrow V$  (150 anos, 10 min.,  $h_{\text{cabo}}$ , cat.); >230 kV  $\rightarrow V$  (250 anos, 10 min.,  $h_{\text{cabo}}$ , cat.).

No tracionamento dos cabos para-raios, deve-se levar em consideração o posicionamento adequado desses cabos sobre os condutores, de forma a evitar o desligamento da linha por falha da blindagem no meio do vão.

### 6.13. Definição da Série de Estruturas, Hipóteses de Carregamento e Árvores de Carga

É preciso constar dos relatórios que tratam do cálculo mecânico das estruturas os principais dados utilizados na determinação dos esforços atuantes sobre as estruturas, tais como: pressões de vento extremo e de alta intensidade; dados dimensionais do condutor e dos cabos para-raios; trações horizontais no condutor e nos cabos para-raios, em função tipo de carregamento (vento extremo, vento de alta intensidade, sem vento e na temperatura mínima e na temperatura média); coeficientes de sobrecarga; deflexão máxima; vão médio; etc.

Para cada tipo de estrutura da família, constará uma tabela com, ao menos, as seguintes informações: aplicação (suspensão leve, ancoragem, terminal, transposição, etc); tipo (estaiada ou autoportante); vão de vento; deflexão máxima; vãos de peso mínimo e máximo; e alturas mínima e máxima da estrutura.

Para cada tipo de estrutura da família, devem ser adotadas, ao menos, as seguintes hipóteses de carregamento: vento extremo transversal; vento extremo longitudinal; vento extremo a 45°; vento

de alta intensidade transversal; vento de alta intensidade longitudinal; vento de alta intensidade a 45°; rompimento de condutor; rompimento de cabo para-raios; construção; e contenção de cascata (estrutura de suspensão).

Nas árvores de carregamento de cada estrutura da série, para cada hipótese de carregamento, constarão as cargas atuantes sobre a estrutura, com os coeficientes de sobrecarga já incorporados, nos pontos de aplicação dos condutores e cabos para-raios, em suas componentes transversal, vertical e longitudinal — além do peso próprio da estrutura.

Os esforços sobre os cabos e estruturas precisam ser calculados segundo a IEC 60.826[7.4].

## 6.14. Definição do Sistema de Aterramento das Estruturas

Os sistemas de aterramento das estruturas são, em geral, constituídos por um conjunto de fases de aterramento, com quatro ou seis “pernas” (cabos contrapesos) dispostas radialmente em relação ao centro da estrutura, sendo que cada fase possui um comprimento pré-estabelecido para as “pernas”. A seleção da fase de aterramento a ser implantada em cada estrutura da linha de transmissão depende do valor da resistividade aparente do solo e é feita na fase do projeto executivo. Para cada etapa de aterramento, é informado um valor máximo de resistividade aparente do solo aplicável.

A seleção da fase de aterramento a ser aplicada em cada estrutura da linha deve ser feita a partir da medição de resistividade do solo no local de implantação da estrutura e deve possibilitar que o valor médio da resistência de aterramento das estruturas, ao longo da linha, à frequência industrial, seja igual ou menor que um valor de referência (em geral não superior a  $20 \Omega$ ), informado no projeto.

Não é recomendada a utilização de cabos contrapesos muito longos, ou de cabos contrapesos contínuos, se houver a possibilidade de prejuízo do desempenho da linha às descargas atmosféricas.

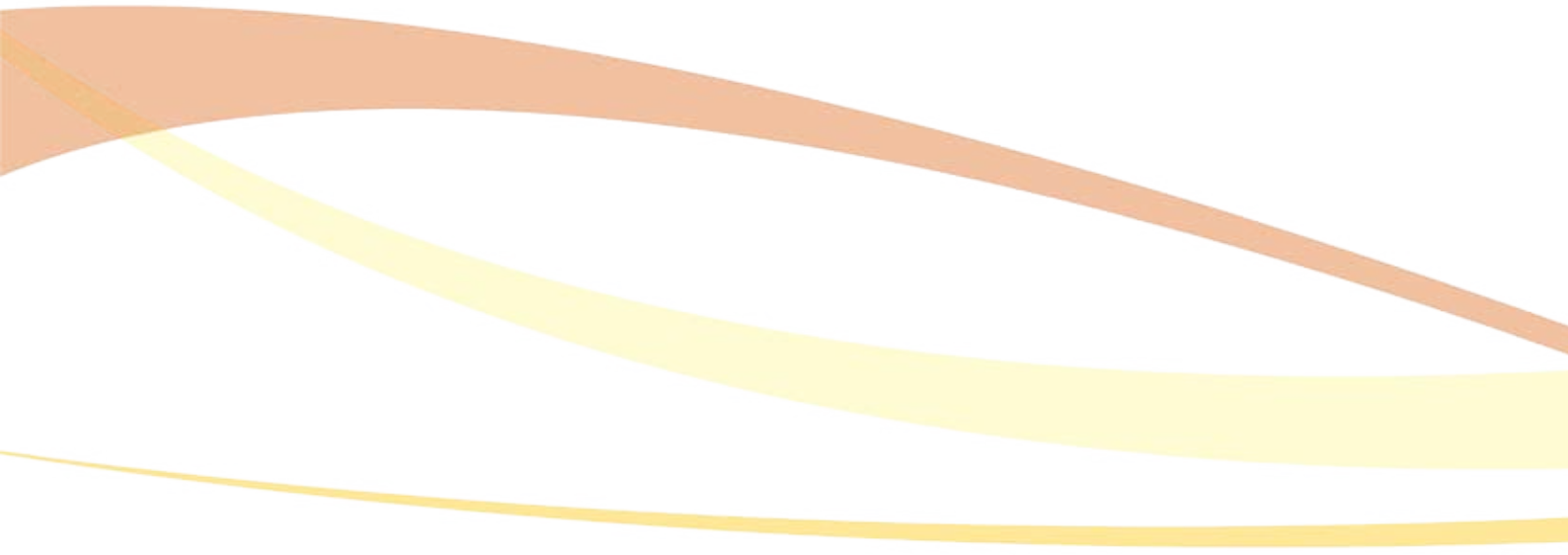
## 6.15. Definição das Fundações Típicas

Devem constar, do relatório de fundações, a descrição, as propriedades e os parâmetros dos solos e rochas típicos, necessários ao dimensionamento das fundações.

As cargas atuantes no topo das fundações (tração, compressão e cisalhamento) serão determinadas com base nas hipóteses de carregamento das estruturas e considerar a ação do vento sobre estas.

Os AT[7.1] determinam que “no projeto das fundações, para atender o critério de coordenação de falha, as solicitações transmitidas pela estrutura às fundações devem ser majoradas pelo fator mínimo 1,10. Essas solicitações, calculadas a partir das cargas de projeto da estrutura, considerando suas condições particulares de aplicação – vão gravante, vão de vento, ângulo de deflexão, fim de linha e altura da estrutura – passam a ser consideradas cargas de projeto das fundações”.

Do projeto básico deve constar uma descrição das fundações típicas recomendadas para a linha, considerando-se todos os tipos de estruturas, e um detalhamento mínimo de projeto, seja por meio de desenho ou de croquis.



## 7. Referências para Linhas de Transmissão

- [7.1] Anexos Técnicos dos Editais de Leilão de Transmissão da ANEEL;
- [7.2] Submódulo 2.4 dos Procedimentos de Rede;
- [7.3] Norma IEC 60.815/xxxx – Guide for the selection of insulator in respect of polluted conditions;
- [7.4] Norma IEC 60.826/2003 – Design criteria of overhead transmission lines;
- [7.5] Norma ABNT NBR 5422/1985 – Projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica;
- [7.6] Norma ABNT NBR 5419/2005 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas;
- [7.7] Norma ABNT NBR 8449/1984 – Dimensionamento de cabos para-raios para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica;
- [7.8] NESC – National Electrical Safety Code – C2-2002;
- [7.9] Resolução Normativa da ANEEL nº 191 de 12 de dezembro de 2005;
- [7.10] Resolução Normativa da ANEEL nº 398 de 23 de março de 2010.

## 8. Sugestões de Padronização de Relatórios de Estudos

A seguir, são apresentadas sugestões de modelos para os relatórios de estudos elétricos de projeto básico, visando à padronização deste tipo de documento e à agilização do processo de análise de conformidade do mesmo. Cada um dos subitens corresponde a um tipo específico de relatório para apresentação dos resultados dos estudos elétricos.

### 8.1. Frequência Fundamental

#### 1. Introdução e Objetivo

Apresentar um breve resumo dos aspectos associados à integração do empreendimento à Rede Básica do SIN - Sistema Interligado Nacional, cobrindo a motivação da implantação do empreendimento com os benefícios esperados, relacionando as instalações, linhas de transmissão e equipamentos vinculados ao empreendimento, assim como a sua localização física e o ano previsto para a sua entrada em operação.

Relacionar os estudos na frequência fundamental que fazem parte do documento, justificando, caso ocorra, o motivo da não apresentação de algum tipo de estudo solicitado.

#### 2. Conclusões e Recomendações

Devem ser destacadas as conclusões referentes a cada tipo de análise efetuada (Regime Normal e de Emergência, Energização, Rejeição de Carga e Desempenho Dinâmico).

Observa-se que o foco das conclusões e recomendações, neste contexto, deve obrigatoriamente cobrir os aspectos de projeto básico da instalação e seus equipamentos; cita-se como exemplo: a conclusão quanto à adequação ou não das tensões sustentadas de regime permanente e dinâmico na extremidade das linhas de transmissão, impostas aos equipamentos terminais, e a comprovação da conformidade da comutação sob carga proposta para os transformadores.

#### 3. Critérios

Deste item devem constar os critérios adotados, tendo como referência as diretrizes estabelecidas no anexo técnico do edital da Aneel e no submódulo 23.3 do Procedimentos de Rede do ONS.

É imprescindível apresentar: os limites considerados para as tensões nas barras do sistema para as condições operativas normal e de emergência; os limites das tensões sustentadas de regime permanente e dinâmico na extremidade das linhas de transmissão, a ser observados nas manobras

de energização e rejeição de carga; as capacidades de corrente das linhas de transmissão e de equipamentos.

## 4. Metodologia Adotada

Neste tópico, o intuito é apresentar a metodologia empregada nas simulações e análises, citando as sequências das manobras realizadas e a condição de operação (em operação ou não) dos equipamentos de controle da tensão (banco de capacitores, reatores, compensadores estáticos, compensadores síncronos e comutação sob carga de transformadores).

No desenvolvimento dos estudos, também deve ser informada a metodologia utilizada na representação de sistemas de controle de unidades geradoras, os compensadores síncronos e os estáticos, caso existentes.

## 5. Dados Utilizados

É indispensável, para a análise do documento e emissão do parecer por parte da Aneel, a apresentação das seguintes informações e dados utilizados nos estudos na frequência fundamental:

### 5.1. Configuração da rede estudada

Esta configuração deve ser apresentada por meio de diagrama unifilar, para possibilitar a visualização da configuração da rede em correspondência aos anos estudados: ano de entrada em operação do empreendimento e configuração futura, no horizonte do plano Decenal da EPE.

### 5.2. Dados dos Componentes

Serão apresentados em forma de tabelas os dados de linhas de transmissão, transformadores, reatores, banco de capacitores, compensadores estáticos, compensação série e demais equipamentos relacionados no anexo técnico do edital e considerados nos estudos da frequência fundamental.

As Tabelas 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6, a seguir, apresentam sugestões para apresentação dos dados dos componentes da rede.

**Tabela 5.1. Dados das Linhas de Transmissão.**

| LT (Descrição)        | Comp. | Impedâncias -%(Base 100MVA) |       |          | Capacidade (MVA) |        |
|-----------------------|-------|-----------------------------|-------|----------|------------------|--------|
|                       |       | R1(%)                       | X1(%) | B1(MVAR) | Normal           | Emerg. |
| Cabo n x -- MCM CD/CS | Km    |                             |       |          |                  |        |
| LT SE A – SE BkV      |       |                             |       |          |                  |        |
|                       |       |                             |       |          |                  |        |

Tabela 5.2. Dados dos Transformadores.

| Subestação | Potência (MVA)   | Relação de Tensões (KV) | Ligações | Impedâncias (%)<br>Base 100 MVA | Limites de Carregamento (MVA) |               |
|------------|--|-------------------------|----------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|
|            |  |                         |          | 1. Xps                          | Longa Duração                 | Curta Duração |
|            |  |                         |          |                                 |                               |               |
|            | Dados da Comutação   |                         |          |                                 |                               |               |
|            | Informar dados dos comutadores de derivação em carga, lado instalação, barra controlada, faixa de derivações com o número de posições de ajustes ( <i>tapes</i> ). |                         |          |                                 |                               |               |

Tabela 5.3. Dados dos Reatores de LTS:Fixo (F) e Manobráveis (M).

| Barra de | Barra para | Local do Reator / Tipo: (F) ou (M) | Circuito | Tensão (kV) | Potência (MVar) |
|----------|------------|------------------------------------|----------|-------------|-----------------|
|          |            |                                    |          |             |                 |
|          |            |                                    |          |             |                 |

Tabela 5.4. Dados dos Reatores e Banco de Capacitores de Barra Manobráveis.

|  | Barra | Tensão (kV) | Potência (MVar) |
|--|-------|-------------|-----------------|
|  |       |             |                 |
|  |       |             |                 |

Tabela 5.5. Dados dos Compensadores Estáticos e Compensadores Síncronos.

| Barra | Tensão (kV) | Potência (+/- MVar) | Inclinação(Slope) CER (%) |
|-------|-------------|---------------------|---------------------------|
|       |             |                     |                           |
|       |             |                     |                           |

Tabela 5.6. Dados da Compensação Série das Linhas de Transmissão.

| Subestação | LT | Reatância (%) - Base 100MVA | Capacidade (MVA) |        |
|------------|----|-----------------------------|------------------|--------|
|            |    |                             | Normal           | Emerg. |
|            |    |                             |                  |        |
|            |    |                             |                  |        |

## 6. Informações sobre os Casos Base

Serão apresentadas as informações sobre os casos bases utilizados nos estudos de fluxo de carga, energização e rejeição de carga, devendo destacar-se: o horizonte de referência (ONS-PAR ou EPE-PDE), as condições de carga estudadas, as condições de intercâmbios e os despachos de geração mais relevantes associados à análise do empreendimento.

Justificar as razões que resultaram na escolha das condições de carga, intercâmbios e despachos de geração associadas aos estudos apresentados. Deve ser levada em consideração, sob o enfoque do projeto básico, a necessidade da imposição de condições extremas de carregamentos e de limites de tensão visando ao dimensionamento das instalações.

## 7. Desenvolvimento do Estudo

Será apresentado, para cada tipo de estudo realizado, um item específico contemplando as análises dos casos simulados e as principais constatações, conforme a seguir:

### 7.1. Estudo de Fluxo de Carga

Apresentar nesse item o desenvolvimento do estudo de fluxo de carga levando em conta todos os aspectos aplicáveis e considerando o sistema operando tanto sob condição normal, como sob emergência - (n-1).

Deve ser apresentada, em forma de tabela, a relação de todas as emergências estudadas, Tabela 7.1.

**Tabela 7.1. Emergências Estudadas.**

| Nro | Descrição da Emergência |
|-----|-------------------------|
|     |                         |
|     |                         |

Os resultados das simulações de fluxo de carga para a rede na condição normal de operação e sob emergência, e nas condições de carga e de intercâmbios estudados, serão apresentados em anexo ao relatório dos estudos elétricos na frequência fundamental — seja em tabelas ou diagramas de plotagem do fluxo de carga, dos quais devem constar as tensões nas barras e os carregamentos (fluxo de carga) nos componentes da rede, incluindo os componentes do empreendimento objeto do leilão e do sistema elétrico em sua área de abrangência.

No item 9 - Anexos, como forma de exemplificar os anexos ao relatório de estudos elétricos na frequência fundamental, relativos ao estudo de fluxo de carga, são apresentados, como sugestão, modelos de tabelas e de diagrama da plotagem do fluxo de carga.

É necessário relacionar, no item do desenvolvimento do estudo de fluxo de carga, as principais constatações observadas nas simulações, abrangendo o sistema operando na condição normal e sob emergência (n-1), para as condições de carga e de intercâmbios estabelecidos em correspondência aos horizontes estudados.

## 7.2. Estudo de Rejeição de Carga

Deve ser apresentado o desenvolvimento do estudo de rejeição de carga, verificando o atendimento aos critérios das tensões sustentadas de regime permanente e dinâmico na extremidade aberta da linha de transmissão e nas barras das subestações, após a manobra. Serão consideradas e informadas no relatório as condições operativas dos equipamentos de controle de tensão (reatores fixos da linha de transmissão, reatores manobráveis das barras, compensadores estáticos shunt ou compensadores síncronos existentes).

O resultado do estudo de rejeição de carga será apresentado em forma de tabelas ou por meio de diagramas unifilares, constando a barra da extremidade terminal da linha de transmissão e as barras das subestações com as indicações das tensões nos instantes: antes da manobra ( $V_{t0-}$ ); imediatamente após a manobra ( $V_{t0+}$ ) e em regime permanente ( $V_t$  RP), correspondente à tensão sustentada. A Tabela 7.2 e a Figura 7.1 apresentam, respectivamente, a sugestão de apresentação dos resultados em tabela ou diagrama unifilar.

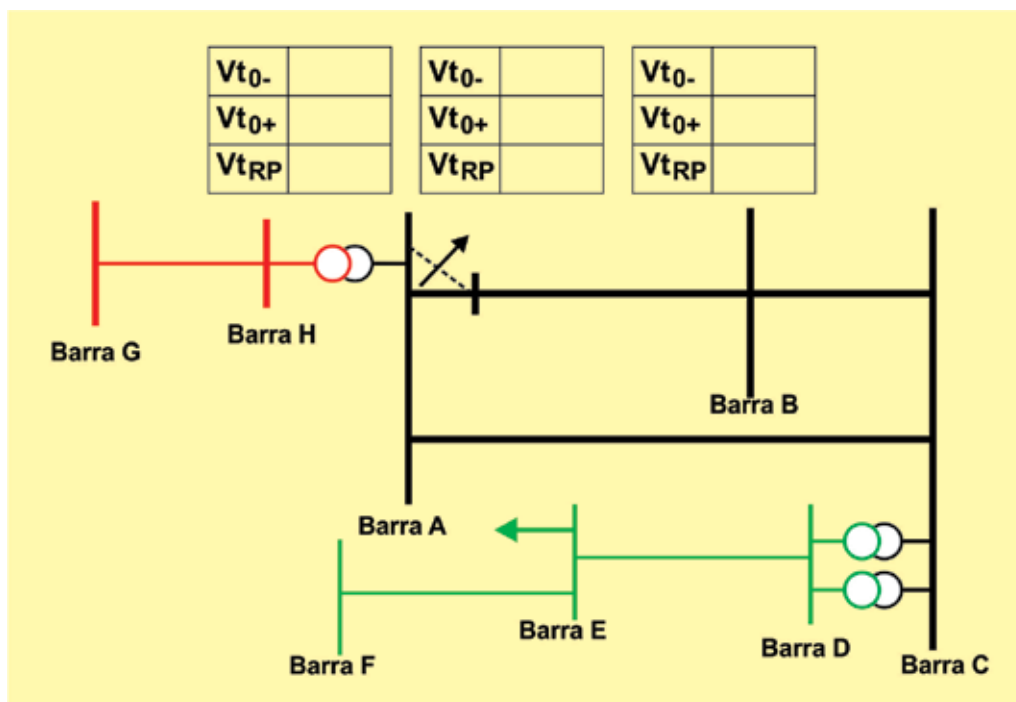
Após a apresentação dos resultados da simulação da rejeição de carga em forma de tabela ou diagrama unifilar, devem-se relacionar as principais constatações sobre a manobra.

**Tabela 7.2. Resultado do Estudo de Rejeição de Carga.**

| Subestação<br>onde Ocorreu a<br>Manobra | Tensões (pu)                               |                                     |                                       |                                     |                                       |                                     |                                       |
|---|--|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
|   | Tensão<br>Pré-<br>Manobra<br>( $V_{t0-}$ ) | Terminal Aberto                     |                                       | Barra SE Manobra                    |                                       | Barra SE Oposta                     |                                       |
|   |  | Tensão<br>Dinâmica<br>( $V_{t0+}$ ) | Tensão<br>Sustentada<br>( $V_{tRP}$ ) | Tensão<br>Dinâmica<br>( $V_{t0+}$ ) | Tensão<br>Sustentada<br>( $V_{tRP}$ ) | Tensão<br>Dinâmica<br>( $V_{t0+}$ ) | Tensão<br>Sustentada<br>( $V_{tRP}$ ) |
|   |  |                                     |                                       |                                     |                                       |                                     |                                       |
|   |  |                                     |                                       |                                     |                                       |                                     |                                       |
|   |  |                                     |                                       |                                     |                                       |                                     |                                       |
|   |  |                                     |                                       |                                     |                                       |                                     |                                       |

- (1) No caso de LT circuito duplo - CD, informar a condição dos circuitos, p.ex: manobra de C1 c/ C2 ligado ou desligado, ou se manobra é dupla (C1 + C2) no caso de rejeição  
 (2) Informar estado (ligado ou desligado) dos reatores, compensador estático shunt ou de compensadores síncronos

Figura 7.1: Resultado do Estudo de Rejeição de Carga



### 7.3. Estudo de Energização de Linha de Transmissão

Deve ser apresentado o desenvolvimento do estudo de energização de linha de transmissão, verificando o atendimento aos critérios das tensões sustentadas de regime permanente e dinâmico na extremidade aberta da linha de transmissão, assim como nas barras das subestações após a manobra. Serão consideradas e informadas no relatório as condições operativas dos equipamentos de controle de tensão (reatores fixos da linha de transmissão, reatores manobráveis das barras, compensadores estáticos shunt ou compensadores síncronos existentes).

O resultado do estudo de energização de linha de transmissão deve ser apresentado em forma de tabela ou de diagrama unifilar, constando a barra da extremidade terminal da linha de transmissão e as barras das subestações com as indicações das tensões nos instantes: antes da manobra ( $V_{t0-}$ ); imediatamente após a manobra ( $V_{t0+}$ ) e em regime permanente ( $V_{tRP}$ ), correspondente à tensão sustentada. A Tabela 7.3 e a Figura 7.2 mostram a sugestão de apresentação dos resultados em forma de tabela ou de diagrama unifilar.

Após a apresentação dos resultados da simulação da energização da linha de transmissão, em tabelas ou diagramas unifilares, como se disse acima, é necessário relacionar as principais constatações sobre a manobra.

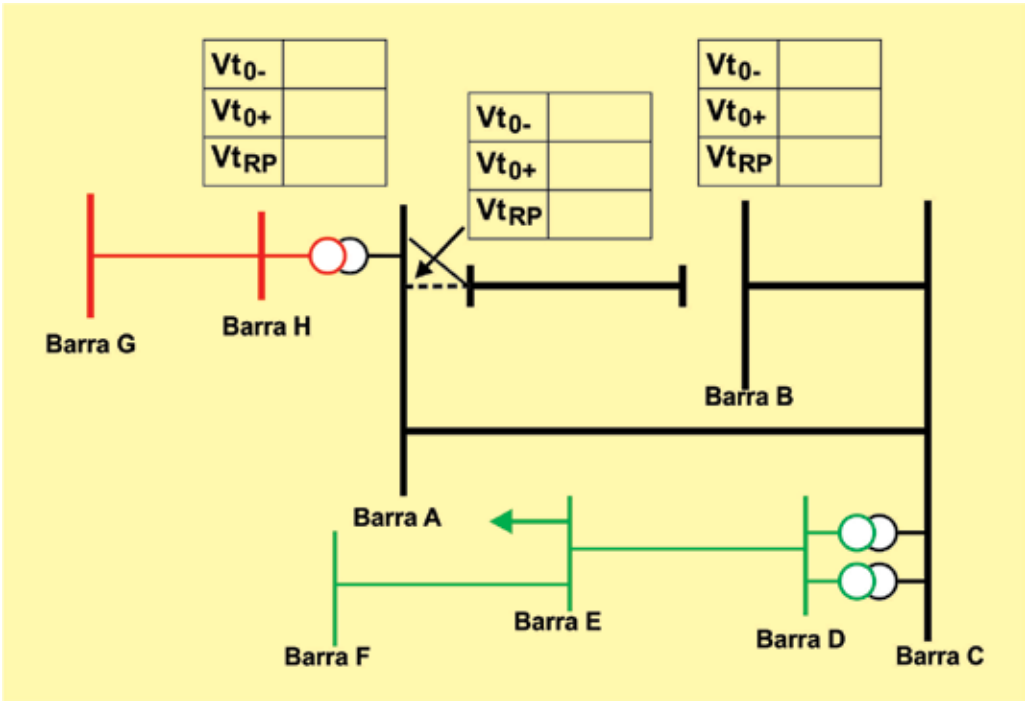
Tabela 7.3. Resultado do Estudo de Energização de Linha de Transmissão

| Subestação<br>onde Ocorreu a<br>Manobra | Tensões (pu)                        |                              |                                |                              |                                |                              |                                |
|---|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|   | Tensão<br>Pré-<br>Manobra<br>(Vt0-) | Terminal Aberto              |                                | Barra SE Manobra             |                                | Barra SE Oposta              |                                |
|   |                                     | Tensão<br>Dinâmica<br>(Vt0+) | Tensão<br>Sustentada<br>(VtRP) | Tensão<br>Dinâmica<br>(Vt0+) | Tensão<br>Sustentada<br>(VtRP) | Tensão<br>Dinâmica<br>(Vt0+) | Tensão<br>Sustentada<br>(VtRP) |
|   |                                     |                              |                                |                              |                                |                              |                                |
|   |                                     |                              |                                |                              |                                |                              |                                |
|   |                                     |                              |                                |                              |                                |                              |                                |
|   |                                     |                              |                                |                              |                                |                              |                                |

(1) No caso de LT circuito duplo - CD, informar a condição dos circuitos, p.ex: manobra de C1 c/ C2 ligado ou desligado.

(2) Informar estado (ligado ou desligado) dos reatores, compensador estático shunt ou de compensadores síncronos

Figura 7.2. Resultado do Estudo de Energização



### 7.4. Estudo Dinâmico

Será apresentado o desenvolvimento dos estudos dinâmicos necessários ao projeto básico do empreendimento.

Do desenvolvimento do estudo deve constar a relação das emergências estudadas, devendo ser indicados o tipo e o local da aplicação do defeito com os tempos da atuação da proteção e da abertura dos disjuntores. Os tempos da atuação da proteção corresponderão aos padronizados no submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS, em função do nível da tensão.

Também deve ser informado o caso base de fluxo de carga e a base de dados com os modelos dos

sistemas de controle adotados nas simulações feitas pelo programa de estabilidade.

Também serão apresentadas as modelagens que, caso necessário, tenham sido desenvolvidas para os sistemas de controle, por meio de modelos típicos ou definitivos associados aos equipamentos do empreendimento (unidades geradores, compensadores estáticos, compensadores síncronos). Conforme exigência do anexo técnico do edital, é necessário obter junto ao fabricante do equipamento o modelo final para simulação dinâmica com o programa ANATEM, encaminhando o mesmo ao ONS.

Devem-se apresentar em anexo ao relatório de estudos elétricos na frequência fundamental as curvas de estabilidade obtidas por meio das simulações, atestando ou não o seu desempenho frente aos eventos estudados.

No item 9 – Anexos, como forma de exemplificar os anexos ao relatório de estudos elétricos na frequência fundamental, relativo aos estudos dinâmicos, é apresentado um exemplo de diagrama em blocos típicos de um sistema de controle e de curvas de estabilidade, mostrando o seu comportamento dinâmico.

## 8. Referências

Apresentar, neste item, todos os documentos utilizados com referência para o desenvolvimento dos estudos elétricos na frequência fundamental.

## 9. Anexos

Tabela 9.1. Resultado Estudo de Fluxo de Carga – Tensão nas Barras.

| Identificação da Barra |      | Tensão nas barras (pu) |     |                 |            |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------|------|------------------------|-----|-----------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                        |      | Faixa                  |     | Cond.<br>Normal | Emergência |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                        |      | Max                    | Min |                 | 01         | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 |
| Nro                    | Nome |                        |     |                 |            |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                        |      |                        |     |                 |            |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                        |      |                        |     |                 |            |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                        |      |                        |     |                 |            |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                        |      |                        |     |                 |            |    |    |    |    |    |    |    |    |

Tabela 9.2. Resultado Estudo de Fluxo de Carga – Fluxo de Carga.

| Barra de |      | Barra para |      | Fluxo de Carga(MVA) |                             |                             |               |               |               |               |               |               |               |               |
|----------|------|------------|------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|          |      |            |      | Nº Circuito         | Carreg. Longa Duração (MVA) | Carreg. Curta Duração (MVA) | Emergência 01 | Emergência 02 | Emergência 03 | Emergência 04 | Emergência 05 | Emergência 06 | Emergência 07 | Emergência 08 |
| Nº       | Nome | Nº         | Nome |                     |                             |                             |               |               |               |               |               |               |               |               |
|          |      |            |      |                     |                             |                             |               |               |               |               |               |               |               |               |
|          |      |            |      |                     |                             |                             |               |               |               |               |               |               |               |               |
|          |      |            |      |                     |                             |                             |               |               |               |               |               |               |               |               |
|          |      |            |      |                     |                             |                             |               |               |               |               |               |               |               |               |

Figura 9.1. Diagrama de Plotagem do Fluxo de Carga.

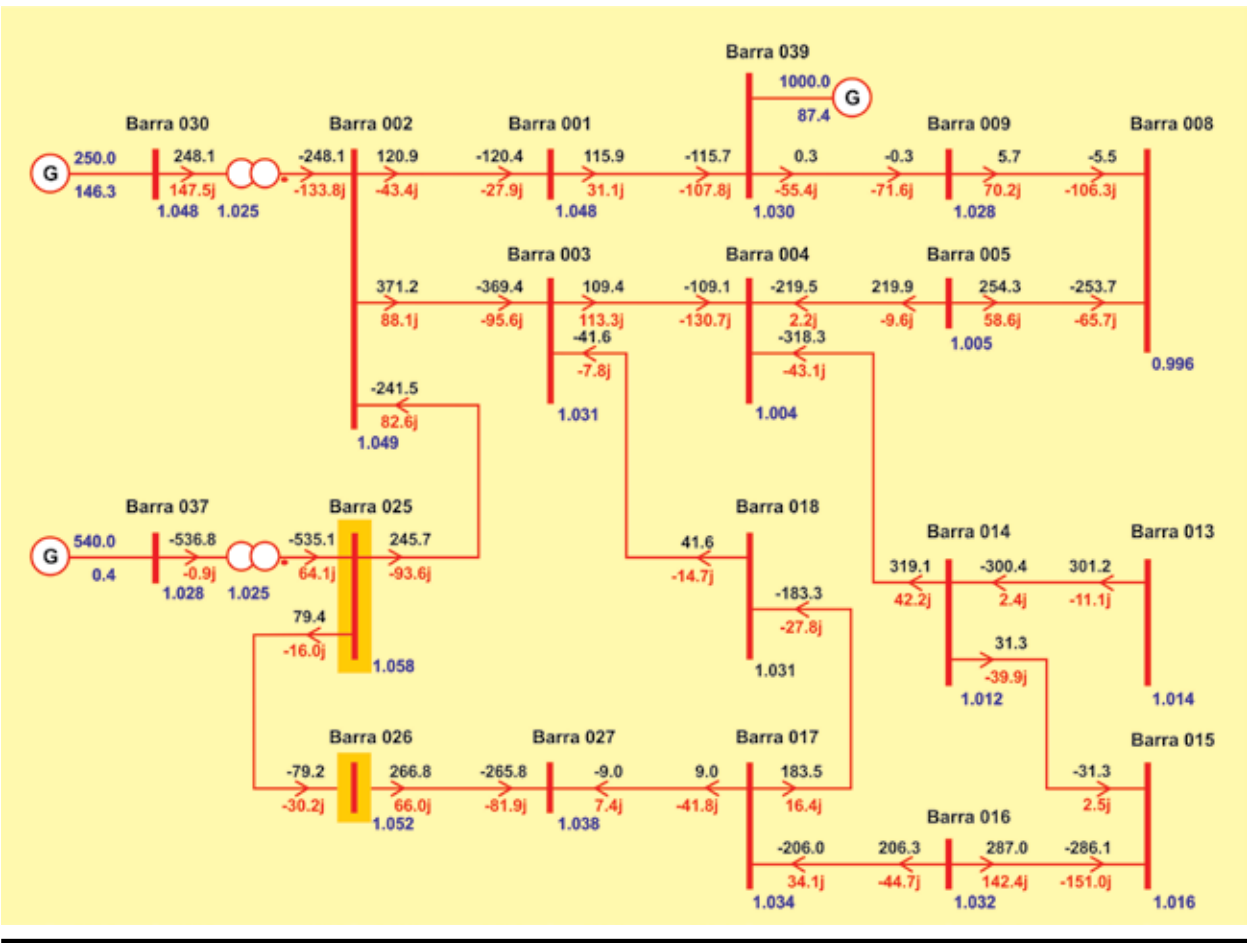


Figura 9.2. Diagrama Analógico do Sistema de Controle do Compensador Estático da SE A.

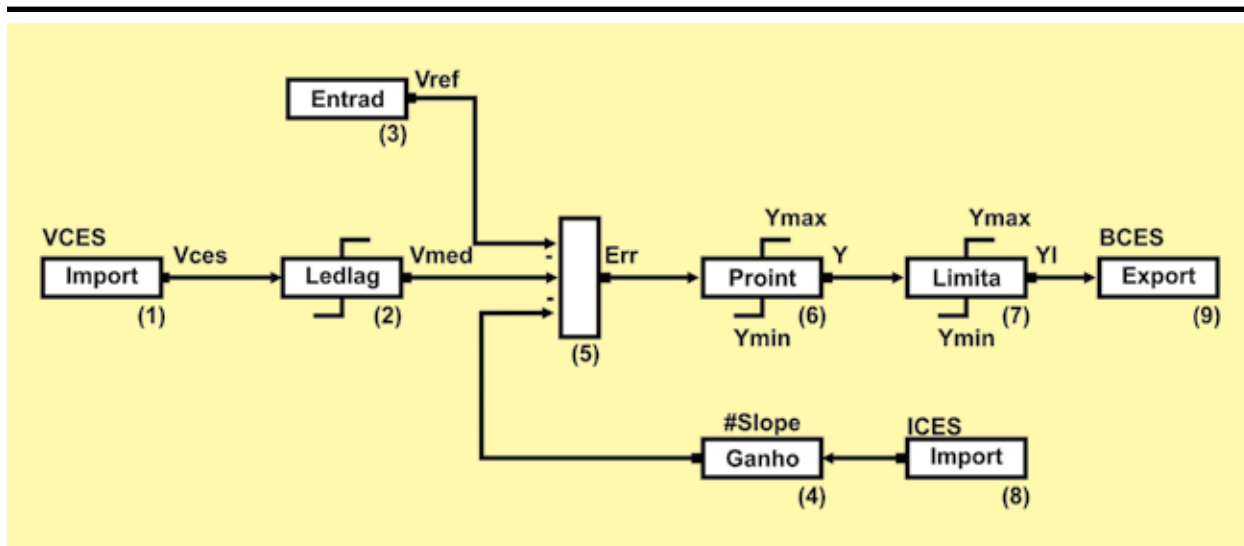
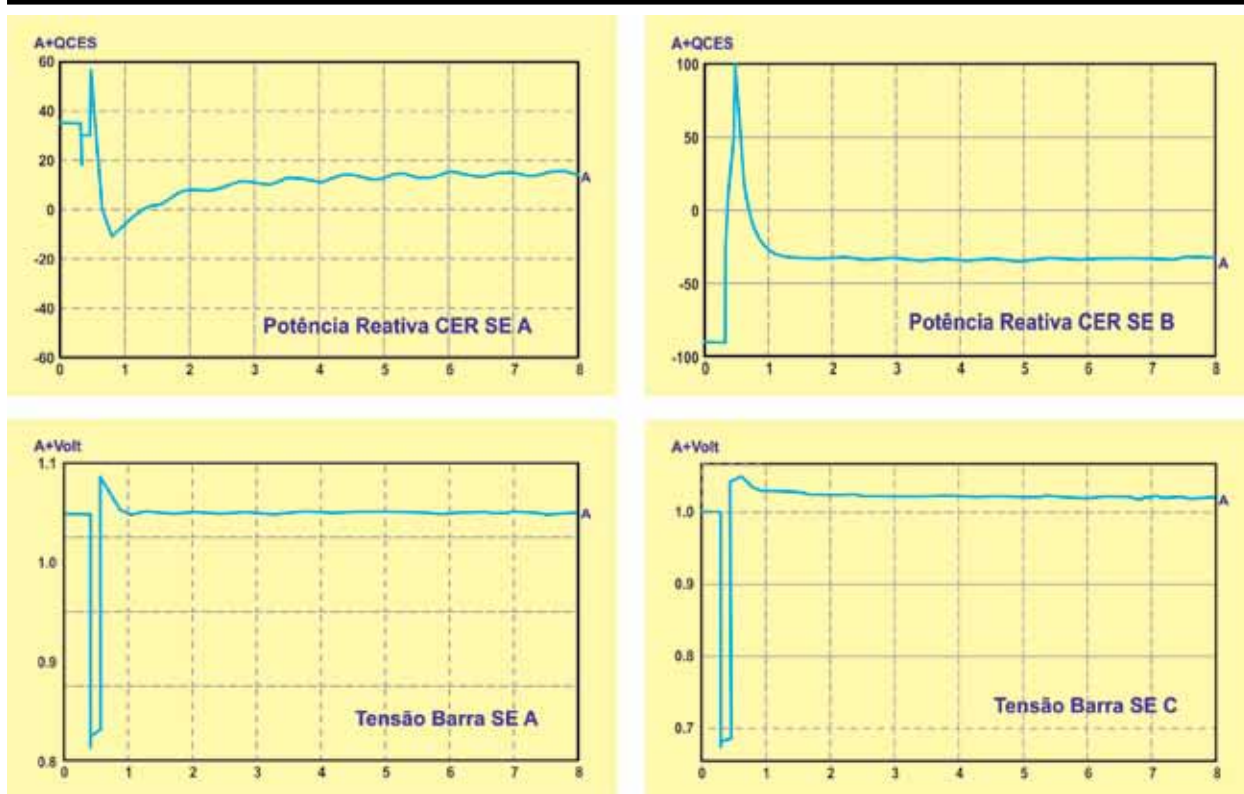


Figura 9.3. Plotagem das Curvas do Comportamento Dinâmico do Compensador Estático das SES: A e B – Emergência 01



## 8.2. Fluxo de Potência em Barramentos

### 1. Introdução e Objetivo

Apresentar um breve resumo dos aspectos associados à configuração de barramento da(s) subestações e a integração do empreendimento à Rede Básica do SIN - Sistema Interligado Nacional.

Devem-se relacionar instalações, linhas de transmissão e equipamentos vinculados ao empreendimento, a sua localização física e o ano previsto para a sua entrada em operação.

### 2. Conclusões

Apresentar os valores das correntes que circulam nos barramentos e nos vãos de conexão a ser considerados nos respectivos dimensionamentos, para cada carregamento / configuração estudada.

### 3. Premissas

Relacionar os anos estudados, bem como as condições gerais do sistema adotados. Informar os carregamentos e limites considerados.

### 4. Dados Utilizados

Deve(m) ser apresentado(s) o(s) diagrama(s) unifilar(es) da subestação relativa a cada configuração que está sendo estudada, constando da(s) mesma(s), claramente, a identificação de cada seção de barramento (trechos entre conexões adjacentes);

### 5. Desenvolvimento do Estudo

Apresentar a sequência do estudo iniciando com a seleção das contingências a ser consideradas para cada condição de carga/configuração de pátio estudado.

Em seguida, precisam ser apresentados os resultados dos processamentos dos casos de fluxo de potência, por meio de tabelas — sendo uma tabela por condição de carga/configuração de pátio estudado. Delas deve constar, por contingência, o carregamento resultante em cada seção de barramento (em Amperes).

### 6. Referências

Espaço reservado para as referências relacionadas ao anexo em questão.

## 8.3. Cálculo de Parâmetros de LT

### 1. Rotina Line Constants - ATP - Representação para Matriz de Transformação Modal

#### 1.1. Obtenção dos Parâmetros da LT 230kV SEA – SEB - CD- Rotina Line Constant - ATP - Matriz de Transformação Modal.

```

C      **** UNTRANSPOSED K.C. Lee line calculated at    6.000E+01 HZ. ****
C LINE CONSTANTS
C $ERASE
C BRANCH  SASB1ASBSA1ASASB1BSBSA1BSASB1CSBSA1CSASB2ASBSA2ASASB2BSBSA2BSASB2CSBSA
C METRIC
C C  SKIN RESISTE    REACTAN DIAMETR HORIZON ALTURA  VMID      SEPAR    ALPHA NAME
C C  -----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
C C  3456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678
C C
C C      1          2          3          4          5          6          7
C1      0.08160 2 1.0729    2.700    -9.2     15.8     15.8    123.0    90.
C2      0.08160 2 1.0729    2.700    -4.2     15.8     15.8    123.0    90.
C3      0.08160 2 1.0729    2.700    -4.2     23.5     23.5    123.0    90.
C4      0.08160 2 1.0729    2.700     9.2     15.8     15.8    123.0    90.
C5      0.08160 2 1.0729    2.700     4.2     15.8     15.8    123.0    90.
C6      0.08160 2 1.0729    2.700     4.2     23.5     23.5    123.0    90.
C0      0.81300 2   0.42     1.340     6.9     29.60    29.60     0.0     0.0
C0      4.86640 2 1.2E-6    0.952    -6.9     29.60    29.60     0.0     0.0
C C
C BLANK CARD ENDING CONDUCTOR CARDS
C      1.E3        60.          000001 001000 0  277.00          1
C      The transformation matrix was calculated at  6.00000000E+01 Hz.
$VINTAGE, 1
-1SASB1ASBSA1A          7.31718E-01 1.01063E+03 1.83181E+05-2.77000E+02 16
-2SASB1BSBSA1B          4.22706E-02 3.46419E+02 2.91042E+05-2.77000E+02 16
-3SASB1CSBSA1C          4.37633E-02 2.76826E+02 2.91542E+05-2.77000E+02 16
-4SASB2ASBSA2A          4.06033E-02 2.14496E+02 2.94832E+05-2.77000E+02 16
-5SASB2BSBSA2B          4.08314E-02 2.27892E+02 2.95065E+05-2.77000E+02 16
-6SASB2CSBSA2C          4.15032E-02 2.38422E+02 2.94641E+05-2.77000E+02 16

```

```

$VINTAGE, 0
0.47369023 -0.51934988 -0.35622108 -0.36953542 -0.487524360.22022064
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.36423328 -0.30784286 -0.340629750.60263926 0.49685834 0.02803665
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.40043594 -0.313358240.62860028 -0.05266622 -0.03022726 -0.60212899
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.461796450.60563968 -0.19905599 0.35849068 -0.50730020 -0.22594786
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.359501090.37555147 -0.21467944 -0.60413776 0.50655557 -0.12876301
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.374307020.17168796 0.52557498 0.06322789 0.02420872 0.72147429
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000

```

---

1.2. Base Dados ATP – Modelagem da LT 230KVSA – SB - CD – Através da Matriz de Transformação Modal. Transposição: C1:ABC-C2:CBA, (em trechos de 1/6, 1/3, 1/3 e 1/6 do comprimento total).

---

```

C *****
C * LT 230KV SUBEST_A - SUBEST-B 2X795MCM-TERN *
C *****
C
C TRECHO #1 (1/6 TOTAL - 46,16KM)
$VINTAGE, 1
-1SASB1ATRAX1A          7.31718E-01 1.01063E+03 1.83181E+05-0.46160E+02 16
-2SASB1BTRAX1B          4.22706E-02 3.46419E+02 2.91042E+05-0.46160E+02 16
-3SASB1CTRAX1C          4.37633E-02 2.76826E+02 2.91542E+05-0.46160E+02 16
-4SASB2CTRAX2C          4.06033E-02 2.14496E+02 2.94832E+05-0.46160E+02 16
-5SASB2BTRAX2B          4.08314E-02 2.27892E+02 2.95065E+05-0.46160E+02 16
-6SASB2ATRAX2A          4.15032E-02 2.38422E+02 2.94641E+05-0.46160E+02 16
$VINTAGE, 0
0.47369023 -0.51934988 -0.35622108 -0.36953542 -0.487524360.22022064
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.36423328 -0.30784286 -0.340629750.60263926 0.49685834 0.02803665
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.40043594 -0.313358240.62860028 -0.05266622 -0.03022726 -0.60212899

```

```

0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.461796450.60563968 -0.19905599 0.35849068 -0.50730020 -0.22594786
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.359501090.37555147 -0.21467944 -0.60413776 0.50655557 -0.12876301
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.374307020.17168796 0.52557498 0.06322789 0.02420872 0.72147429
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000

```

C

C TRECHO #2 (1/3 TOTAL - 92,33KM)

\$VINTAGE, 1

```

-1TRAX1BTRAY1B          7.31718E-01 1.01063E+03 1.83181E+05-0.92330E+02 16
-2TRAX1CTRAY1C          4.22706E-02 3.46419E+02 2.91042E+05-0.92330E+02 16
-3TRAX1ATTRAY1A          4.37633E-02 2.76826E+02 2.91542E+05-0.92330E+02 16
-4TRAX2ATTRAY2A          4.06033E-02 2.14496E+02 2.94832E+05-0.92330E+02 16
-5TRAX2CTRAY2C          4.08314E-02 2.27892E+02 2.95065E+05-0.92330E+02 16
-6TRAX2BTRAY2B          4.15032E-02 2.38422E+02 2.94641E+05-0.92330E+02 16

```

\$VINTAGE, 0

```

0.47369023 -0.51934988 -0.35622108 -0.36953542 -0.487524360.22022064
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.36423328 -0.30784286 -0.340629750.60263926 0.49685834 0.02803665
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.40043594 -0.313358240.62860028 -0.05266622 -0.03022726 -0.60212899
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.461796450.60563968 -0.19905599 0.35849068 -0.50730020 -0.22594786
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.359501090.37555147 -0.21467944 -0.60413776 0.50655557 -0.12876301
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.374307020.17168796 0.52557498 0.06322789 0.02420872 0.72147429
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000

```

C TRECHO #3 (1/3 TOTAL - 92,330KM)

\$VINTAGE, 1

```

-1TRAY1CTRAZ1C          7.31718E-01 1.01063E+03 1.83181E+05-0.92330E+02 16
-2TRAY1ATTRAZ1A          4.22706E-02 3.46419E+02 2.91042E+05-0.92330E+02 16
-3TRAY1BTRAZ1B          4.37633E-02 2.76826E+02 2.91542E+05-0.92330E+02 16
-4TRAY2BTRAZ2B          4.06033E-02 2.14496E+02 2.94832E+05-0.92330E+02 16
-5TRAY2ATTRAZ2A          4.08314E-02 2.27892E+02 2.95065E+05-0.92330E+02 16
-6TRAY2CTRAZ2C          4.15032E-02 2.38422E+02 2.94641E+05-0.92330E+02 16

```

\$VINTAGE, 0

```

0.47369023 -0.51934988 -0.35622108 -0.36953542 -0.487524360.22022064
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.36423328 -0.30784286 -0.340629750.60263926 0.49685834 0.02803665
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.40043594 -0.313358240.62860028 -0.05266622 -0.03022726 -0.60212899
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.461796450.60563968 -0.19905599 0.35849068 -0.50730020 -0.22594786
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.359501090.37555147 -0.21467944 -0.60413776 0.50655557 -0.12876301
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.374307020.17168796 0.52557498 0.06322789 0.02420872 0.72147429
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000

```

C TRECHO #4 (1/6 TOTAL - 46,16KM)

\$VINTAGE, 1

```

-1SBSA1ATRAZ1A          7.31718E-01 1.01063E+03 1.83181E+05-0.46160E+02 16
-2SBSA1BTTRAZ1B          4.22706E-02 3.46419E+02 2.91042E+05-0.46160E+02 16
-3SBSA1CTTRAZ1C          4.37633E-02 2.76826E+02 2.91542E+05-0.46160E+02 16
-4SBSA2CTTRAZ2C          4.06033E-02 2.14496E+02 2.94832E+05-0.46160E+02 16
-5SBSA2BTTRAZ2B          4.08314E-02 2.27892E+02 2.95065E+05-0.46160E+02 16
-6SBSA2ATTRAZ2A          4.15032E-02 2.38422E+02 2.94641E+05-0.46160E+02 16

```

\$VINTAGE, 0

```

0.47369023 -0.51934988 -0.35622108 -0.36953542 -0.487524360.22022064
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.36423328 -0.30784286 -0.340629750.60263926 0.49685834 0.02803665
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.40043594 -0.313358240.62860028 -0.05266622 -0.03022726 -0.60212899
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.461796450.60563968 -0.19905599 0.35849068 -0.50730020 -0.22594786
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.359501090.37555147 -0.21467944 -0.60413776 0.50655557 -0.12876301
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000
0.374307020.17168796 0.52557498 0.06322789 0.02420872 0.72147429
0.000000000.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000 0.00000000

```

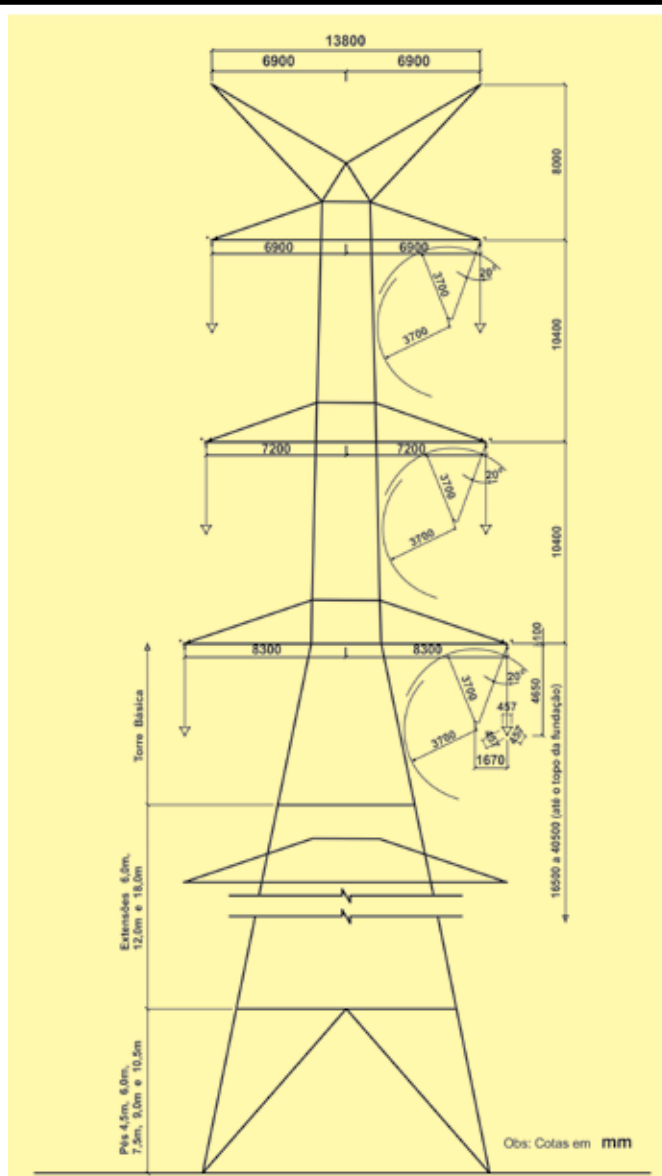
C

C REATORES FIXOS 22 MVAR -230KV DA LT SUBEST\_A - SUBEST\_B C1 E C2

C TERMINAL SUBEST\_A

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| 00SASB1A            | 8.0002404.0 |
| 00SASB1B            | 8.0002404.0 |
| 00SASB1C            | 8.0002404.0 |
| 00SASB2A            | 8.0002404.0 |
| 00SASB2B            | 8.0002404.0 |
| 00SASB2C            | 8.0002404.0 |
| C TERMINAL SUBEST_B |             |
| 00SBSA1A            | 8.0002404.0 |
| 00SBSA1B            | 8.0002404.0 |
| 00SBSA1C            | 8.0002404.0 |
| 00SBSA2A            | 8.0002404.0 |
| 00SBSA2B            | 8.0002404.0 |
| 00SBSA2C            | 8.0002404.0 |

**Figura 1.1. Torre Típica.**





Relacionar os estudos de transitórios eletromagnéticos que fazem parte do documento, justificando, caso ocorra, o motivo da não apresentação de algum tipo de estudo solicitado.

## **2. Conclusões**

Devem ser destacadas as conclusões associadas a cada um dos estudos desenvolvidos:

### 2.1. Conclusões do Estudo de Energização

### 2.2. Conclusões do Estudo de Religamento Tripolar

### 2.3. Conclusões do Estudo de Rejeição de Carga

Serão apresentadas, para cada um deles, as máximas sobretensões e energias dissipadas nos para-raios, com os comentários sobre as violações encontradas relativas a cada um dos trechos de linhas de transmissão estudados.

É necessário apresentar a conclusão sobre a integração dos estudos de manobra e a coordenação de isolamento das estruturas das linhas de transmissão.

## **3. Recomendações**

Deve-se recomendar o sentido preferencial da manobra, se houver.

Com o intuito de subsidiar a especificação dos equipamentos, deverão informar-se: as recomendações quanto à tensão nominal e à capacidade de energia (KJ/kV) a ser adotadas para os para-raios; a necessidade da utilização de dispositivos para controle das sobretensões (resistores de pré-inserção – valor em ohms e tempo de inserção), dentre outras.

## **4. Representação da Rede e Dados Considerados**

### 4.1. Representação da Rede

Será apresentada no corpo do relatório, por meio de diagrama unifilar, a configuração da rede utilizada na realização dos estudos de transitórios eletromagnéticos, devendo ser respeitado o afastamento mínimo de, pelo menos, duas barras atrás do ponto de manobra, com a validação da modelagem por meio da comparação dos níveis de curto-circuito. A Figura 4.1 e a Tabela 4.1 apresentam um exemplo de diagrama unifilar com a validação da modelagem da rede.

É preciso informar o ano horizonte do caso PAR-ONS (ano, condição de carga, despacho de geração, intercâmbios e carregamento da(s) linha(s) foco das manobras), adotado como referência para o ajuste do fluxo de potência do caso ATP, referente a cada uma das simulações, energização, religamento tripolar e rejeição de carga.



### 4.2.1. Linhas de Transmissão

Tabela 4.2. Dados das Linhas de Transmissão.

| De | Para | Tensão (kV) | L (km) | R1 (ohms/km) | X1 (ohms/km) | Y1 (μF/km) | R0 (ohms/km) | X0 (ohms/km) | Y0 (μF/km) |
|----|------|-------------|--------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |
|    |      |             |        |              |              |            |              |              |            |

Quando se tratar de linha(s) de transmissão que requeiram a modelagem detalhada dos acoplamentos eletrostáticos e eletromagnéticos envolvidos, como é o caso de linhas de circuito duplo ou de linhas que correm em paralelo dividindo a mesma faixa de passagem, deve-se referenciar o tipo de modelagem adotada juntamente com os dados de entrada utilizados no processamento da rotina “Line Constants”, do programa ATP, informando os dados de projeto básico da(s) linha(s), (geometria torre típica, características do cabo fase, cabos para-raios e flechas) e os esquemas de transposição.

### 4.2.2. Transformadores

Tabela 4.3. Dados dos Transformadores.

| Subestação | Potência (MVA) | Relação de Tensões (kV) | Ligações | Impedância (% base pot. nominal) |     |     |
|------------|----------------|-------------------------|----------|----------------------------------|-----|-----|
|            |                |                         |          | Xps                              | Xpt | Xst |
|            |                |                         |          |                                  |     |     |
|            |                |                         |          |                                  |     |     |
|            |                |                         |          |                                  |     |     |
|            |                |                         |          |                                  |     |     |
|            |                |                         |          |                                  |     |     |

Deve também ser informado para quais transformadores foi representada a curva de magnetização.

### 4.2.3. Reatores

Tabela 4.4. Dados dos Reatores de LT:Fixo (F) e Manobráveis (M).

| Barra de | Barra para | Local | Circuito | Tensão (kV) | Potência (Mvar) |
|----------|------------|-------|----------|-------------|-----------------|
|          |            |       |          |             |                 |
|          |            |       |          |             |                 |
|          |            |       |          |             |                 |
|          |            |       |          |             |                 |

Tabela 4.5. Dados dos Reatores de Barra - Manobráveis.

| Barra | Tensão (kV) | Capacidade (Mvar) |
|-------|-------------|-------------------|
|       |             |                   |
|       |             |                   |
|       |             |                   |
|       |             |                   |

### 4.2.4. Equivalentes

Tabela 4.6. Dados dos Equivalentes Próprios.

| Local | R0 ( $\Omega$ ) | X0( $\Omega$ ) | R1( $\Omega$ ) | X1( $\Omega$ ) |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |

Tabela 4.7. Dados das Impedâncias de Transferências

| De | Para | R0 ( $\Omega$ ) | X0( $\Omega$ ) | R1( $\Omega$ ) | X1( $\Omega$ ) |
|----|------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|    |      |                 |                |                |                |
|    |      |                 |                |                |                |
|    |      |                 |                |                |                |
|    |      |                 |                |                |                |
|    |      |                 |                |                |                |

#### 4.2.5. Unidades Geradoras

Tabela 4.8. Dados das Unidades Geradoras

| Usina | R0 ( $\Omega$ ) | X0( $\Omega$ ) | R1( $\Omega$ ) | X1( $\Omega$ ) |
|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |
|       |                 |                |                |                |

#### 4.2.6. Para-Raios

Tabela 4.9. Dados dos Para-Raios - Característica de Tensão Residual x Corrente de Descarga.

| I (A) | Tensão (V) |
|-------|------------|
|       |            |
|       |            |
|       |            |
|       |            |
|       |            |
|       |            |
|       |            |
|       |            |

Serão informadas a tensão nominal dos para-raios (valor eficaz) e a correspondente capacidade de absorção de energia (kJ/kV) da tensão nominal eficaz.

#### 4.2.7. Compensadores Estáticos

Devem-se informar as indutâncias ou capacitâncias de acordo com o valor de geração de potência reativa ajustada no correspondente caso de fluxo de potência.

### 5. Metodologia Adotada, Premissas e Critérios

#### 5.1. Metodologia Adotada

Neste item, serão apresentadas de maneira individualizada, por tipo de fenômeno estudado, as

metodologias empregadas nas simulações de energização, religamento tripolar e rejeição de carga, cobrindo os aspectos da sequência das manobras, temporizações das proteções, tempos de religamento, modelagem dos disjuntores e parâmetros das simulações.

## 5.2. Premissas e Critérios

Informar neste item as premissas adotadas quanto aos limites máximos das sobretensões, energia dissipada nos para-raios, utilização de resistores de pré-inserção, dentre outras.

## 6. Resultados das Simulações

Os resultados das simulações devem ser apresentados por meio de tabelas anexas, informando, quando de energizações estatísticas: a identificação do caso estudado, a configuração do sistema, o local do defeito, quando aplicado, o valor da tensão de pré-manobra (pu), os valores médios (pu), os desvios padrão (pu), os valores máximos (pu) e a energia dissipada nos para-raios, para todos os pontos de interesse investigados.

Também devem ser apresentados, em anexo ao relatório de estudos, os gráficos com as formas de onda das tensões e energias dissipadas nos para-raios, correspondentes aos casos considerados mais críticos.

É preciso igualmente apresentar as principais constatações associadas a cada uma das manobras estudadas (energização, religamento tripolar e rejeição de carga), em referência aos resultados apresentados nas tabelas e gráficos com as formas de onda das sobretensões e energia dissipada nos para-raios.

O item 8, a seguir, contém as sugestões de tabelas para a apresentação dos resultados das simulações juntamente com exemplos de gráficos com as formas de onda das tensões e correntes.

## 7. Referências

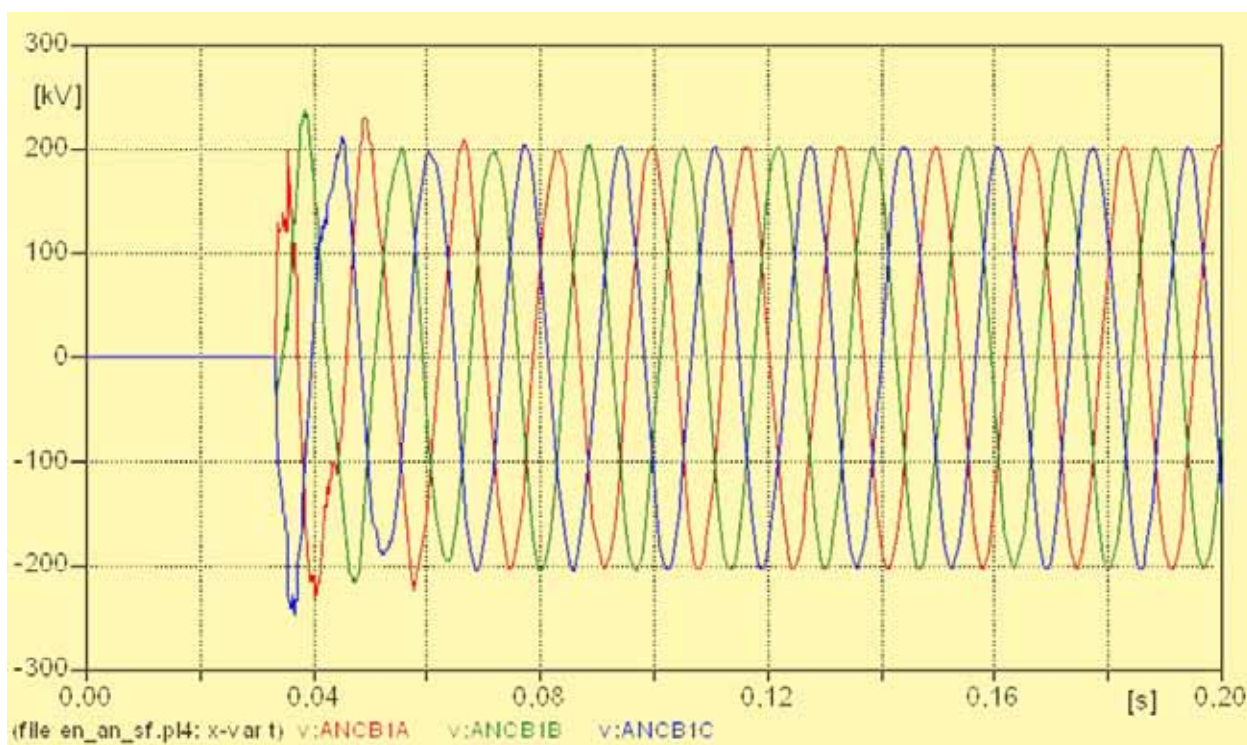
Espaço reservado para as referências relacionadas ao anexo em questão.

## 8. Anexos

Tabela 8.1. Exemplo de Tabela de Apresentação de Resultado Estatístico de Energização de Linha de Transmissão.

| Ident<br>Caso | Local do<br>Defeito | Terminal SE A |              |           |              | ½ Linha      |           |              | Terminal SE B |           |              |                        | Figura<br>Nº |
|---------------|---------------------|---------------|--------------|-----------|--------------|--------------|-----------|--------------|---------------|-----------|--------------|------------------------|--------------|
|               |                     | Vpré<br>(pu)  | Vmed<br>(pu) | o<br>(pu) | Vmax<br>(pu) | Vmed<br>(pu) | o<br>(pu) | Vmax<br>(pu) | Vmed<br>(pu)  | o<br>(pu) | Vmax<br>(pu) | Pára-<br>Raios<br>(kJ) |              |
|               |                     |               |              |           |              |              |           |              |               |           |              |                        |              |
|               |                     |               |              |           |              |              |           |              |               |           |              |                        |              |
|               |                     |               |              |           |              |              |           |              |               |           |              |                        |              |
|               |                     |               |              |           |              |              |           |              |               |           |              |                        |              |

Figura 8.1. Exemplo de Gráfico de Sobretensões - Energização de Linha de Transmissão 230kV.



Energização por SE A, sem defeito prévio; Tensões no terminal da SE A.

Figura 8.2. Exemplo Gráfico Energia Dissipada Para-raios - Energização de Linha de Transmissão 230kV.

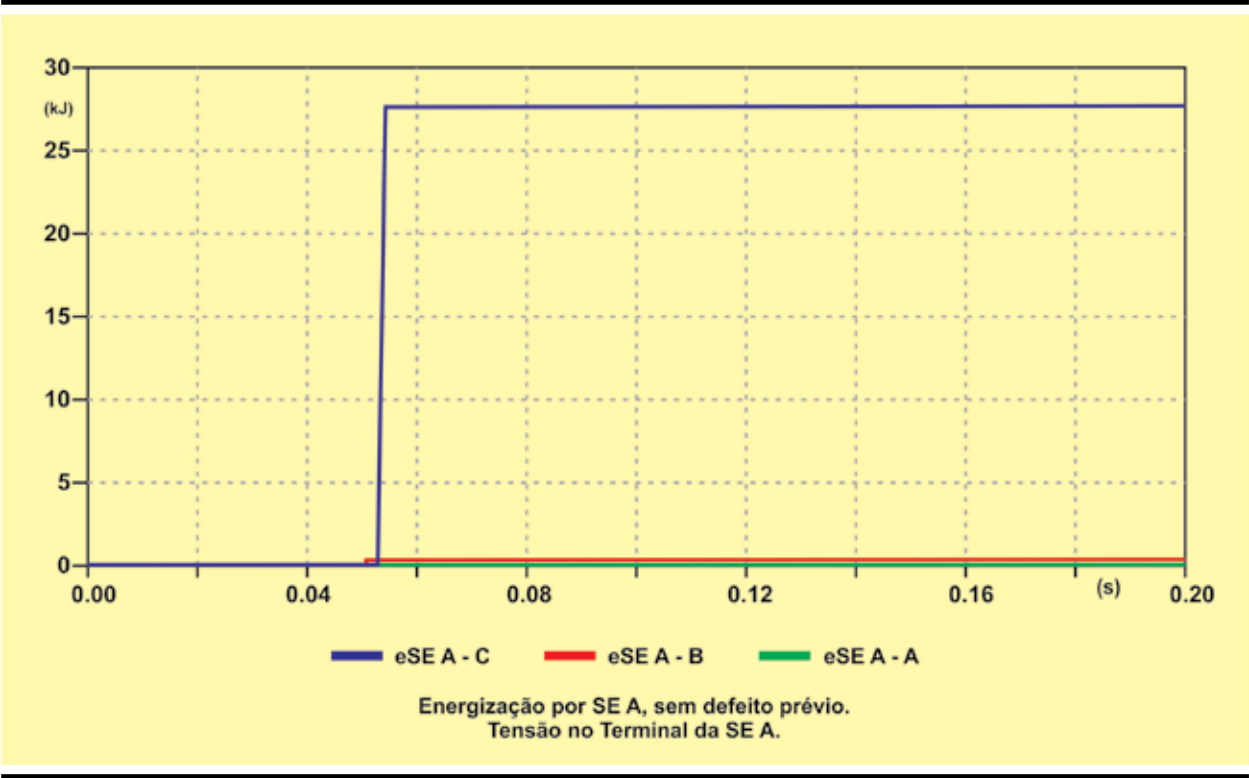
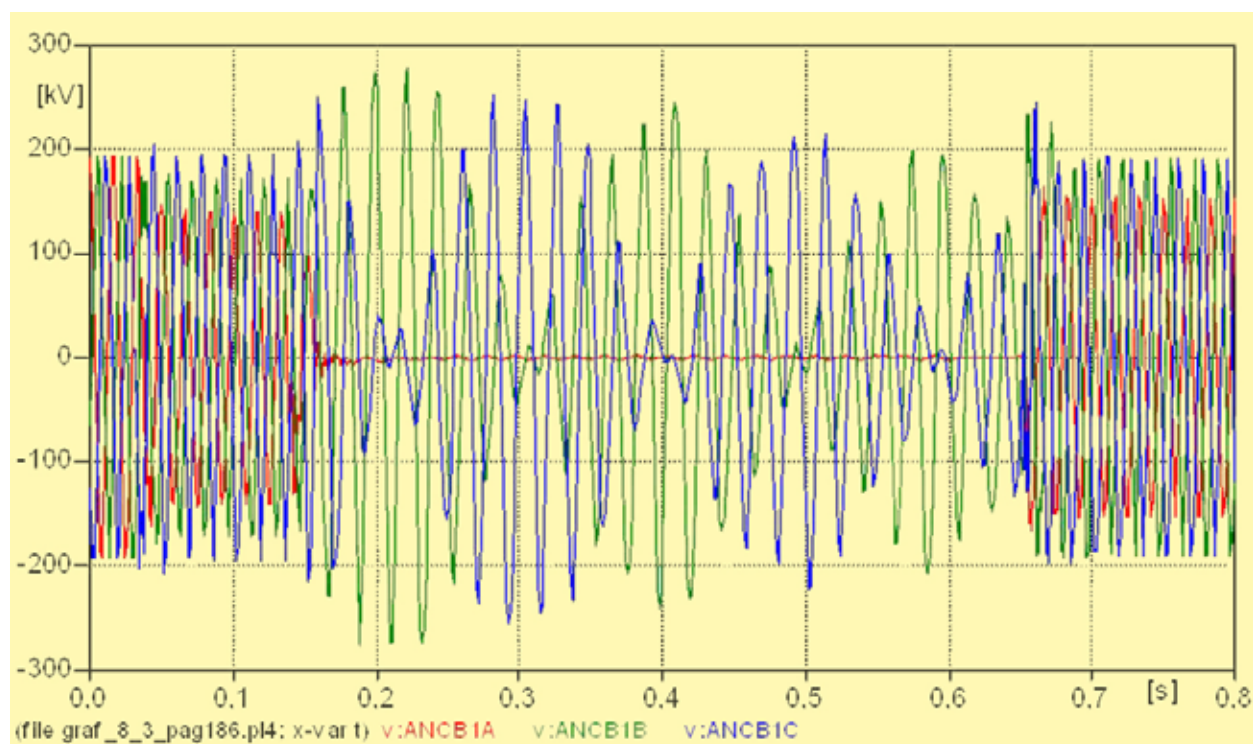


Tabela 8.2. Exemplo Tabela Apresentação Resultado Estatístico de RA Tripolar de Linha de Transmissão.

| Caso | Terminal do RA | Config. Sistema | Local do defeito | Com/Sem Sucesso | Terminal Líder |           |        |           | Terminal Seguidor |        |           |  | Energia nos Para-Raios (kJ) | Fig. Nº |
|------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|-----------|--------|-----------|-------------------|--------|-----------|--|-----------------------------|---------|
|      |                |                 |                  |                 | Vpré (pu)      | Vméd (pu) | o (pu) | Vmáx (pu) | Vméd (pu)         | o (pu) | Vmáx (pu) |  |                             |         |
|      |                |                 |                  | Com             |                |           |        |           |                   |        |           |  |                             |         |
|      |                |                 |                  | Sem             |                |           |        |           |                   |        |           |  |                             |         |
|      |                |                 |                  | Com             |                |           |        |           |                   |        |           |  |                             |         |
|      |                |                 |                  | Sem             |                |           |        |           |                   |        |           |  |                             |         |
|      |                |                 |                  | Com             |                |           |        |           |                   |        |           |  |                             |         |

**Figura 8.3. Exemplo Gráfico Sobretensões RA Tripolar de Linha de Transmissão 230kV Compensada.**



Máximo terminal da SE B: Religamento sem sucesso por SE A, com defeito prévio no terminal SE B.

**Figura 8.4: Exemplo gráfico energia dissipada para-raios - RA tripolar de linha de transmissão 230kV**

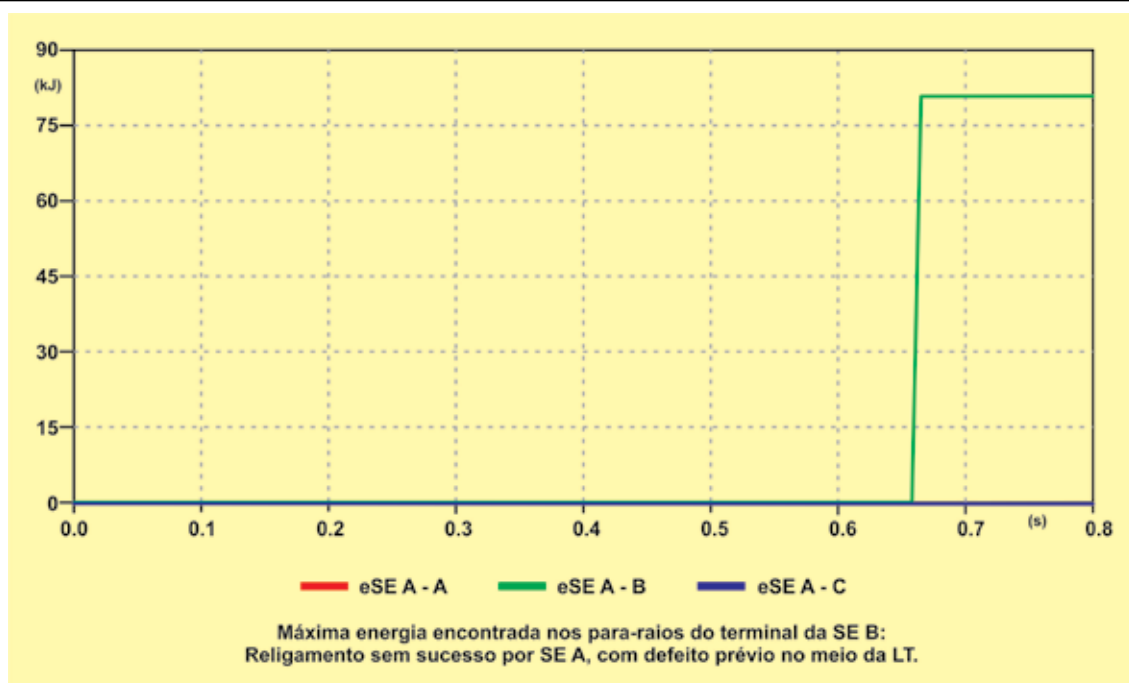


Tabela 8.3. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Simulações da Rejeição de Carga.

| Caso | Local da Rejeição | Tipo de Rejeição | Configuração do Sistema | Defeito | Tensão Pré-Manobra (pu) | Fluxo na LT (MW) | Sobretensão Máxima |               | Energia nos Para-Raios (kJ) | Fig. Nº |
|------|-------------------|------------------|-------------------------|---------|-------------------------|------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|---------|
|      |                   |                  |                         |         |                         |                  | Terminal SE A      | Terminal SE B |                             |         |
|      |                   |                  |                         | Sim     |                         |                  |                    |               |                             |         |
|      |                   |                  |                         | Não     |                         |                  |                    |               |                             |         |
|      |                   |                  |                         | Sim     |                         |                  |                    |               |                             |         |
|      |                   |                  |                         | Não     |                         |                  |                    |               |                             |         |
|      |                   |                  |                         | Sim     |                         |                  |                    |               |                             |         |
|      |                   |                  |                         | Não     |                         |                  |                    |               |                             |         |

Figura 8.5. Exemplo Gráfico Sobretensões Rejeição de Carga Linha de Transmissão 230 kV.

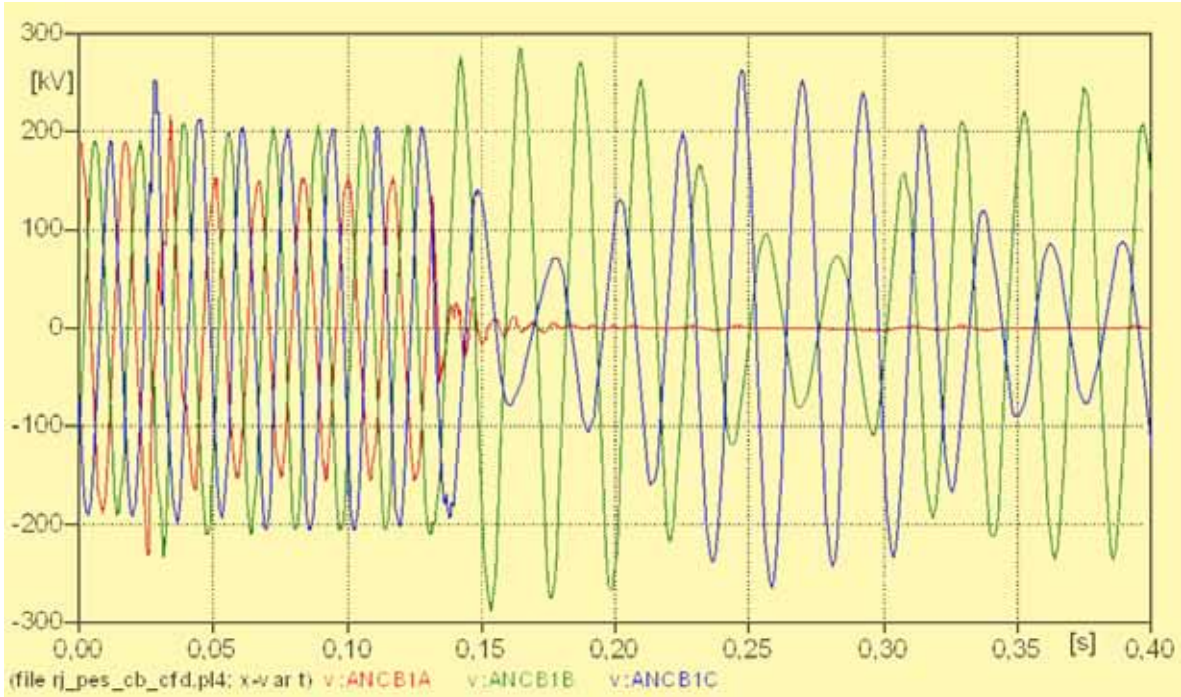
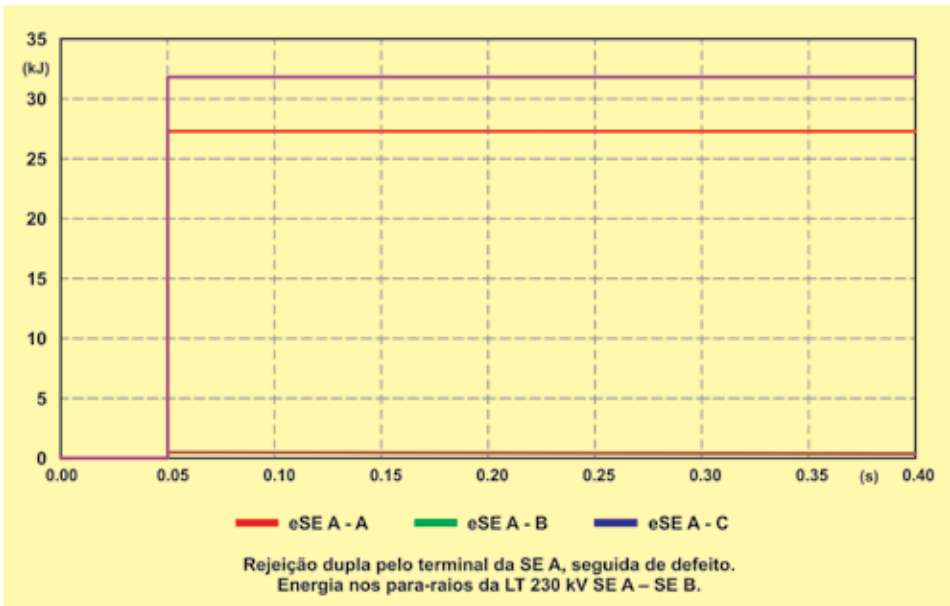


Figura 8.6. Exemplo gráfico energia dissipada para-raios - rejeição de carga linha de transmissão 230kV



## 8.5. Transitórios Eletromagnéticos de Religamento Monopolar de Linhas de Transmissão.

### 1. Introdução e Objetivo

Deve ser apresentado o objetivo do estudo, informando as instalações, linhas de transmissão e equipamentos vinculados ao empreendimento, a sua localização física e o ano previsto para a entrada em operação.

Destacar as linhas de transmissão para as quais os estudos de religamento monopolar serão desenvolvidos.

Também devem ser mencionados os tipos de análises a ser efetuadas com o objetivo de viabilizar o religamento monopolar (inclusive as associadas a investigações de condições de ressonância, caso haja necessidade).

### 2. Conclusões

Devem ser destacadas as conclusões associadas a cada um dos tipos de análise desenvolvida:

#### 2.1. Conclusões do estudo de extinção do arco secundário

Concluir apresentando os valores encontrados para as correntes de arco secundário ( $A_{eficaz}$ ), primeiro pico da TRT ( $kV_{pico}$ ) e tensão induzida na fase aberta ( $kV_{eficaz}$ ). Neste contexto, é necessário destacar as violações, quando ocorrerem, indicando a necessidade de adotar métodos de mitigação ou tempo morto superior a 500ms. No caso do emprego de reatores de neutro, apresentar também conclusão sobre os valores obtidos da tensão no neutro do reator ( $kV_{eficaz}$ ) e corrente através do reator de neutro ( $A_{eficaz}$ ).

#### 2.2. Conclusões do estudo das sobretensões de manobra do religamento monopolar

Apresentar as conclusões referentes às sobretensões das manobras do religamento monopolar seguindo as mesmas diretrizes referentes ao modelo de relatório para o religamento tripolar, conforme apresentado no item 8.4.

### 3. Recomendações

Incluir a recomendação da adoção do religamento monopolar para a linha de transmissão, com o tempo morto a ser adotado. Indicar, caso necessário, o sentido preferencial da manobra ou a existência de restrição para a implantação do religamento a partir de um determinado terminal.

Deve ser recomendada, caso o tempo morto para o religamento monopolar seja superior a 500ms, a realização de estudo dinâmico com o objetivo de verificar que não haverá comprometimento do desempenho dinâmico do sistema.

No caso da necessidade da adoção de reatores de neutro, devem-se incluir os requisitos para sua especificação: reatância em (ohms), corrente de curta duração 1 minuto (amperes), corrente de regime permanente (amperes), potência de regime permanente (KVA<sub>r</sub>), para-raios e nível de isolamento do neutro do reator.

## 4. Representação da Rede e Dados Considerados

Aplicam-se as mesmas diretrizes estabelecidas no item 4 do modelo de relatório para os estudos de transitórios eletromagnéticos de energização de linhas de transmissão, religamento tripolar e rejeição de carga, apresentado no item 8.4 do presente documento

## 5. Metodologia Adotada, Premissas e Critérios

### 5.1. Metodologia Adotada

Neste item, devem ser apresentadas as metodologias empregadas no estudo do religamento monopolar, cobrindo os aspectos das sobretensões das manobras de religamento e da extinção do arco secundário.

### 5.2. Premissas e Critérios

Informar neste item as premissas adotadas quanto aos limites máximos das correntes de arco secundário, primeiro pico da TRT, tensão induzida na fase aberta, limites das sobretensões das manobras, energia dissipada nos para-raios, utilização de reatores de neutro, dentre outras.

## 6. Resultados das Simulações

Os resultados das simulações devem ser apresentados em tabelas anexas ao relatório, informando:

- Os valores de corrente de arco secundário, para defeitos nos terminais da LT, e de tensão induzida na fase aberta, respectivamente, em função da frequência operativa do sistema, obtidos nas simulações de regime permanente. Devem ser incluídos os resultados das análises, quando for o caso, comparando: a condição dos reatores solidamente aterrados *versus* com reator de neutro;
- O par de valores ( $I_a, V_p$ ), corrente de arco secundário ( $A_{\text{eficaz}}$ ) e primeiro pico da TRT ( $kV_{\text{pico}}$ );
- Os resultados das simulações estatísticas das sobretensões de manobras de religamento monopolar.

Apresentar, em anexo ao relatório de estudos, os gráficos com as formas de onda das correntes de arco secundário, tensões induzidas na fase aberta e primeiro pico da TRT, correspondentes aos casos mais relevantes estudados.

Quando da utilização de reator de neutro, apresentar as suas tensões e as correntes eficazes, tendo em vista o seu dimensionamento.

Apresentar as principais constatações associadas a cada uma das manobras estudadas em referência aos resultados apresentados nas tabelas e nos gráficos, com as formas de onda das tensões e correntes.

O item 8, a seguir(anexos), contém as sugestões de tabelas para a apresentação dos resultados das simulações juntamente com exemplos de gráficos com as formas de onda das tensões e correntes e energia dissipada nos para-raios.

## 7. Referências

Espaço reservado para as referências relacionadas ao anexo em questão.

## 8. Anexos

Tabela 8.1. Exemplo de Tabela Apresentação Resultado Corrente de Arco Secundário.

| Freq.<br>(Hz) | Corrente de Arco Secundário (A <sub>eficaz</sub> ) |                                    |                                    |                        |                                    |                                    | Limite de<br>Corrente<br>(A <sub>eficaz</sub> ) |
|---------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|
|               | Defeito SE A                                       |                                    |                                    | Defeito SE B           |                                    |                                    |   |
|               | Com neutro<br>aterrado                             | Com reator<br>de neutro de<br>XXXΩ | Com reator<br>de neutro<br>de YYYΩ | Com neutro<br>aterrado | Com reator<br>de neutro de<br>XXXΩ | Com reator<br>de neutro de<br>YYYΩ |   |
| 56            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 57            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 58            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 59            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 60            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 61            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 62            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 63            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 64            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 65            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |
| 66            |  |                                    |                                    |                        |                                    |                                    |   |

Tabela 8.2. Exemplo de Tabela Apresentação Resultado Tensão Induzida Fase Aberta

| Freq<br>(Hz) | Tensão Induzida na Fase Aberta (kV <sub>eficaz</sub> ) |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
|--------------|--|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------------------------|------------|------------|-------------------------------------|------------|------------|
|              | Sem Defeito  |           |                   |           |                   |           | Defeito em SE A,<br>Tensões em SE B |            |            | Defeito em SE B,<br>Tensões em SE A |            |            |
|              | Com neutro<br>aterrado                                 |           | Com RN de<br>XXXΩ |           | Com RN de<br>YYYΩ |           | Neutro<br>aterrado                  | RN<br>XXXΩ | RN<br>XXXΩ | Neutro<br>aterrado                  | RN<br>XXXΩ | RN<br>XXXΩ |
|              | Em<br>SEA  | Em<br>SEB | Em<br>SEA         | Em<br>SEB | Em<br>SEA         | Em<br>SEB |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 56           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 57           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 58           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 59           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 60           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 61           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 62           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 63           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 64           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 65           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |
| 66           |  |           |                   |           |                   |           |                                     |            |            |                                     |            |            |

Tabela 8.3. Exemplo de Tabela Apresentação Par de Valores (Vp,Ia).

| Defeito no Terminal | Corrente de Arco<br>Secundário<br>(A <sub>eficaz</sub> ) | Primeiro Pico<br>da TRT<br>(kV <sub>pico</sub> ) | Valor Máximo (Critério)            |   | Figura Nº |
|---------------------|--|--|------------------------------------|---|-----------|
|                     |  |  | Corrente<br>(A <sub>eficaz</sub> ) | Primeiro Pico<br>da TRT (kV <sub>pico</sub> ) |           |
| SE A                |  |  |                                    |   |           |
| SE B                |  |  |                                    |   |           |

Figura 8.1. Exemplo de Gráfico - Corrente de Arco Secundário e Primeiro Pico da TRT.

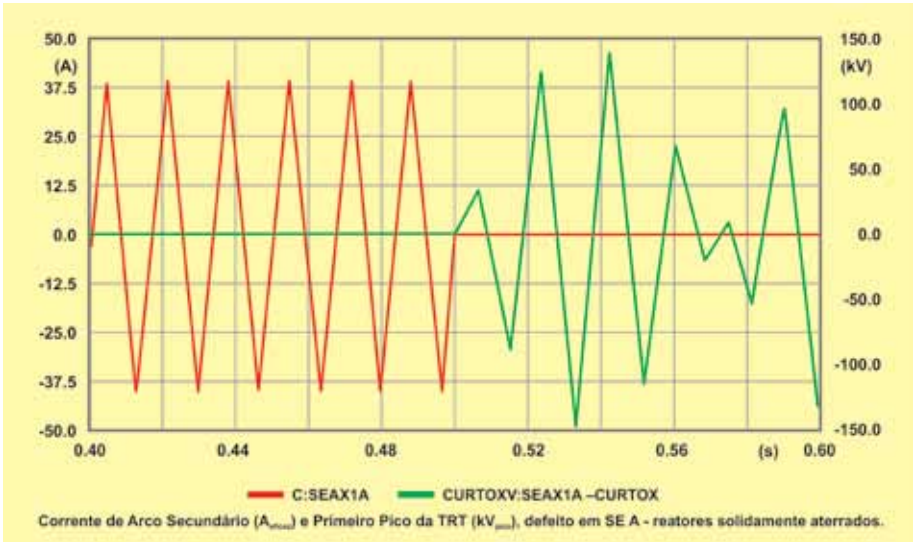


Figura 8.2. Exemplo de Gráfico - Tensão no Reator de Neutro para Faixa Freq. Operativa.

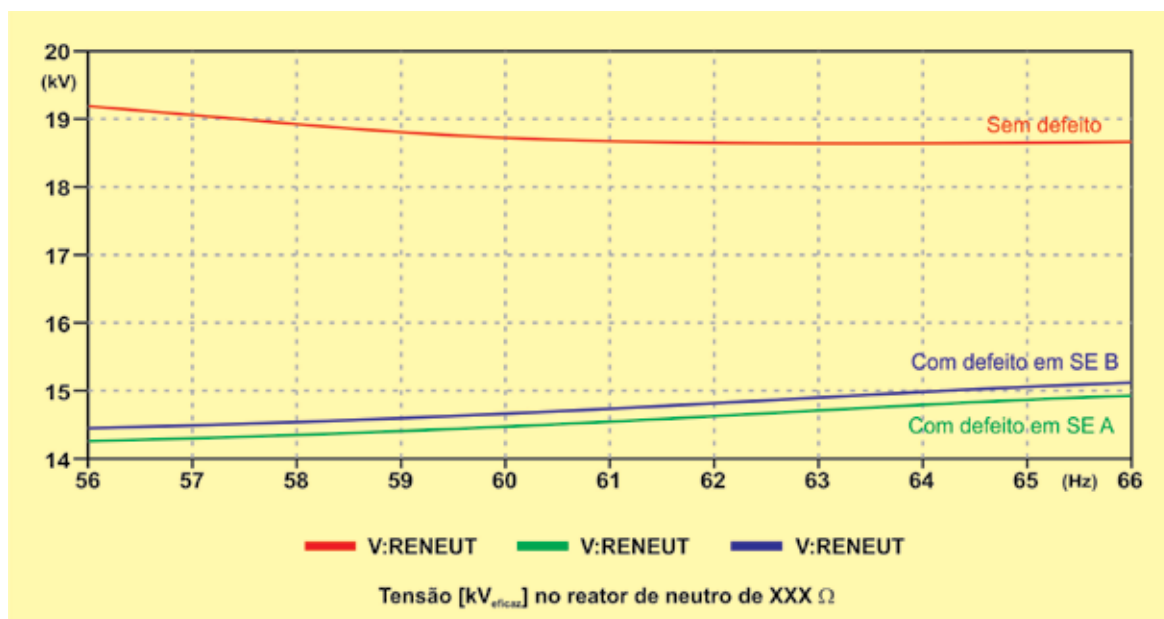


Figura 8.3. Exemplo de Gráfico - Corrente no Reator de Neutro para Faixa Freq. Operativa

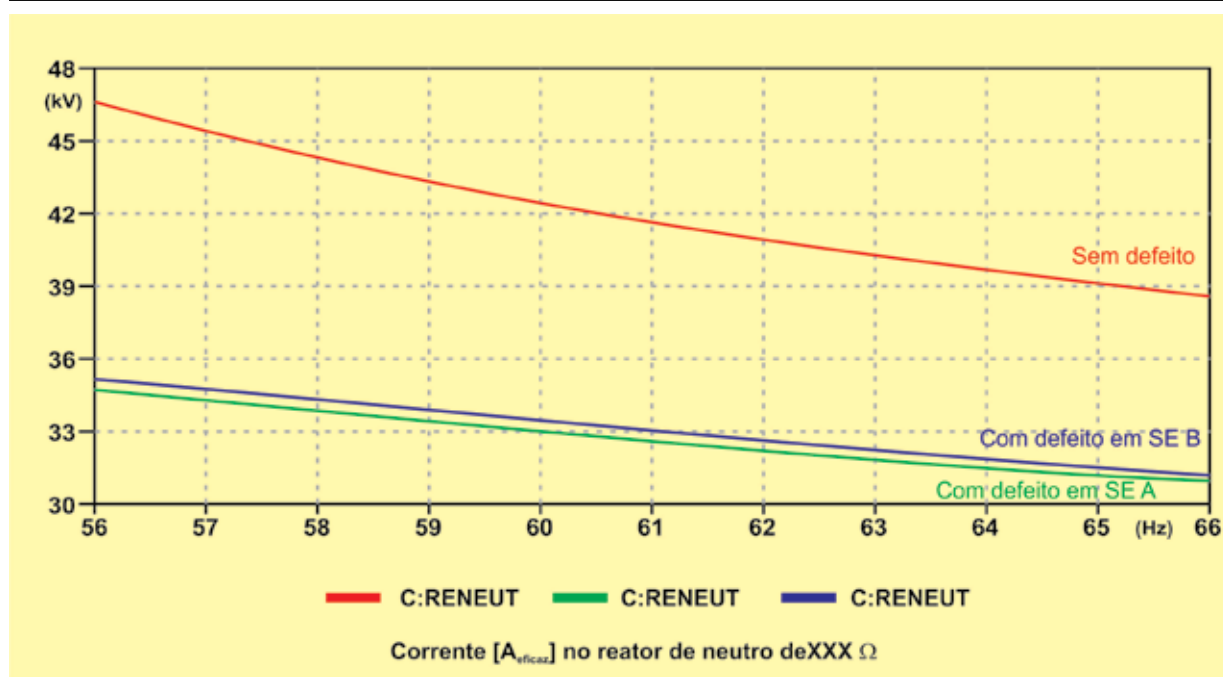
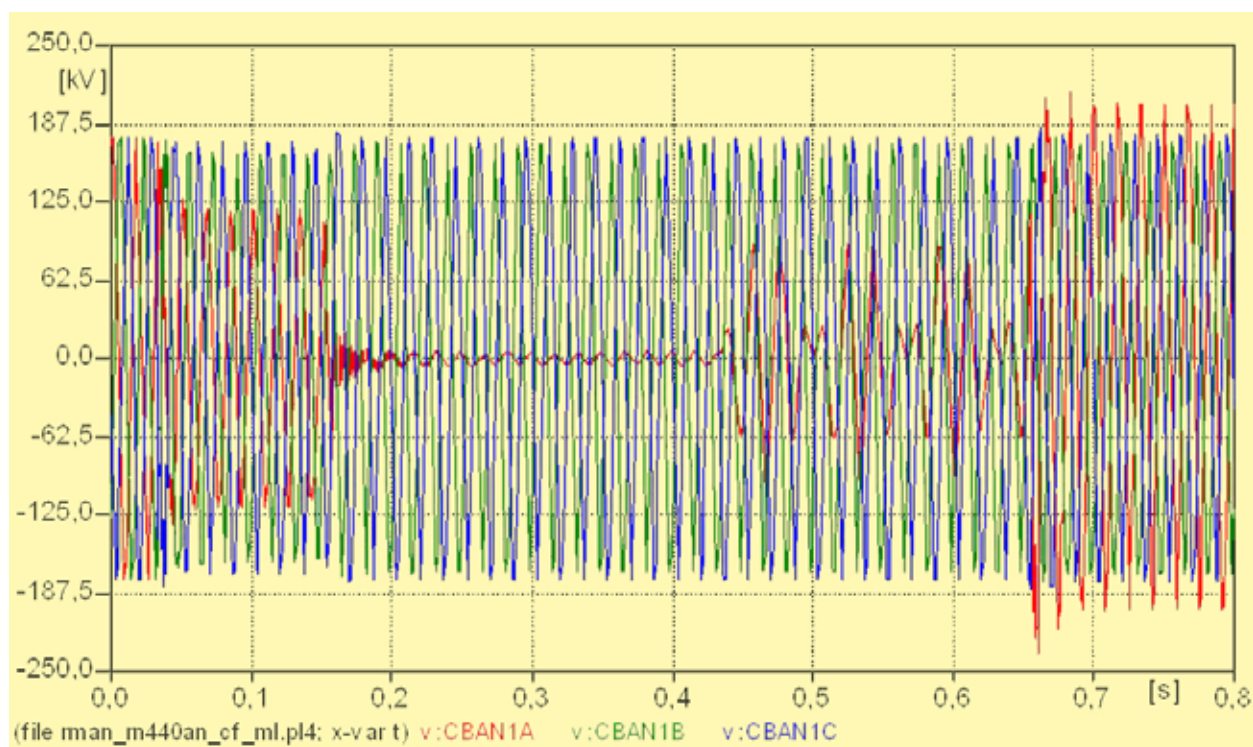


Tabela 8.4. Exemplo de Tabela Apresentação dos Resultados das Manobras Estatísticas do Religamento Monopolar.

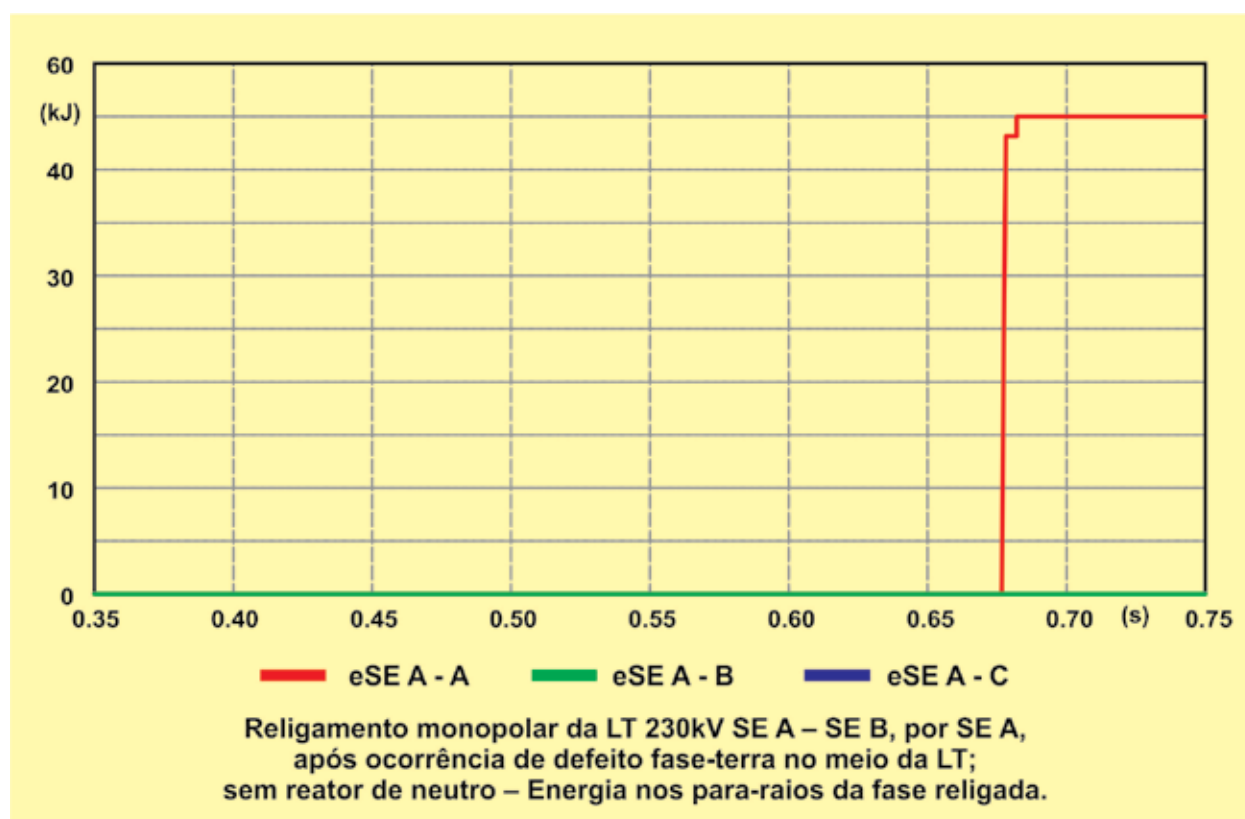
| Ponto de Medição | Grandeza     | Sem reator de neutro |            |             | Com reator de neutro de XXX $\Omega$ |            |             |
|------------------|--------------|----------------------|------------|-------------|--------------------------------------|------------|-------------|
|                  |              | Máximo (pu)          | Média (pu) | Desvio (pu) | Máximo (pu)                          | Média (pu) | Desvio (pu) |
| Barra SE A       | Tensão [pu]  |                      |            |             |                                      |            |             |
| Terminal SE A    | Tensão [pu]  |                      |            |             |                                      |            |             |
| Meio da LT       | Tensão [pu]  |                      |            |             |                                      |            |             |
| Terminal SE B    | Tensão [pu]  |                      |            |             |                                      |            |             |
| Barra SE B       | Tensão [pu]  |                      |            |             |                                      |            |             |
| Pára-raios SE A  | Energia [kJ] |                      |            |             |                                      |            |             |
| Pára-raios SE B  | Energia [kJ] |                      |            |             |                                      |            |             |

Figura 8.4. Exemplo Gráfico Sobretensões Manobra do Religamento Monopolar de LT 230 kV.



Religamento monopolar da LT 230kV SE A – SE B, por SE A, após ocorrência de defeito fase-terra no meio da LT; sem reator de neutro-Tensões no terminal SE B

Figura 8.5. Exemplo Gráfico Energia Dissipada Para-raios - Manobra do Religamento Monopolar de LT 230 kV.



## 8.6. Transitórios Eletromagnéticos de Energização de Transformadores

### 1. Introdução e Objetivo

Deve ser apresentado o objetivo do estudo, informando as instalações, as linhas de transmissão e os equipamentos vinculados ao empreendimento, a sua localização física e o ano previsto para a entrada em operação.

Relacionar as unidades transformadoras (subestação, tensões dos enrolamentos e potência) para as quais os estudos de energização serão desenvolvidos.

Complementar com considerações, caso necessário — como, por exemplo, a justificativa da não realização do estudo da manobra a partir de um determinado terminal do transformador, em função da característica do sistema (radial alimentando cargas).

### 2. Conclusões

Destacar os valores das correntes de “inrush” máximas observadas, sobretensões, e energia dissipada nos para-raios durante as manobras realizadas, apresentando as restrições, caso existentes.

Relacionar também a conclusão sobre a forma de onda e decaimento das correntes de “inrush” e sobretensões.

Concluir sobre a efetividade e a necessidade da adoção de resistores de pré-inserção e/ou dispositivos sincronizadores na redução das correntes de “inrush”.

Apresentar conclusão, caso tenha sido efetuada a análise da resposta em frequência da rede nos pontos das manobras.

### **3. Recomendações**

Incluir a recomendação quanto à necessidade da adoção de resistores de pré-inserção e/ou dispositivos sincronizadores como meio de atenuar os impactos das manobras de energização dos transformadores.

No caso de resistores de pré-inserção, deve-se apresentar o valor em (ohms) com o seu tempo de tempo de inserção (ms).

Para conjuntos (disjuntores+sincronizadores), devem-se recomendar os parâmetros de precisão mecânica com relação à operação do pólo do disjuntor(ms), a precisão do dispositivo eletrônico (ms) e a taxa de decaimento da rigidez dielétrica (RDDS) do “gap” entre os contatos durante o fechamento do disjuntor.

Recomendar também os requisitos de tensão e a capacidade de dissipação de energia dos para-raios.

Recomendar a especificação referente aos parâmetros (joelho e  $X_{ac}$  mínimos), de acordo com os resultados das análises efetuadas.

### **4. Representação da Rede e Dados Considerados**

Aplicam-se as mesmas diretrizes estabelecidas no item 4 do modelo de relatório para os estudos de transitórios eletromagnéticos de energização de linhas de transmissão, religamento tripolar e rejeição de carga, apresentado no item 8.4 do presente documento

### **5. Metodologia Adotada, Premissas e Critérios**

#### **5.1. Metodologia Adotada**

Neste item, devem ser apresentadas as metodologias empregadas no estudo de energização de transformadores.

Devem ser destacados os aspectos das modelagens dos disjuntores, incluindo resistores de pré-inserção ou sincronizadores, quando empregados.

Também precisam ser apresentados os parâmetros das simulações.

## 5.2. Premissas e Critérios

Informar neste item as premissas adotadas quanto aos limites máximos das correntes de “inrush”, sobretensões máximas admissíveis nos transformadores, tensão de pré-manobra, capacidade de dissipação de energia nos para-raios.

## 6. Resultados das Simulações

Os resultados das simulações serão apresentados em tabelas anexas, informando, quando de energizações estatísticas: identificação do caso estudado; configuração do sistema; (se completa ou n-1); se houve aplicação de defeito; se a manobra foi com ou sem resistor de pré-inserção ou sincronizador; o valor da tensão de pré-manobra (pu); o valor médio das sobretensões (pu); o correspondente desvio padrão (pu); o valor da sobretensão máxima (pu); a máxima energia dissipada nos para-raios (pu); e o valor máximo da corrente de “inrush” (pu).

Também devem ser apresentados, em anexo ao relatório de estudos, os gráficos com as formas de onda das tensões, correntes de “inrush” e energias dissipadas nos para-raios, correspondentes aos casos considerados mais críticos. No caso da realização da análise da resposta em frequência da rede nos pontos de manobras, serão apresentados os gráficos com os resultados do comportamento da tensão, em função da frequência.

Apresentar as principais constatações associadas a cada uma das manobras estudadas em referência aos resultados apresentados nas tabelas e gráficos, com as formas de onda das sobretensões, correntes de “inrush”, energia dissipada nos para-raios e gráficos com a resposta em frequência da rede.

O item 8, a seguir (anexos), contém as sugestões de tabelas para a apresentação dos resultados das simulações, juntamente com os exemplos de gráficos com as formas de onda das tensões, correntes de “inrush” e curvas de resposta em frequência da rede.

## 7. Referências

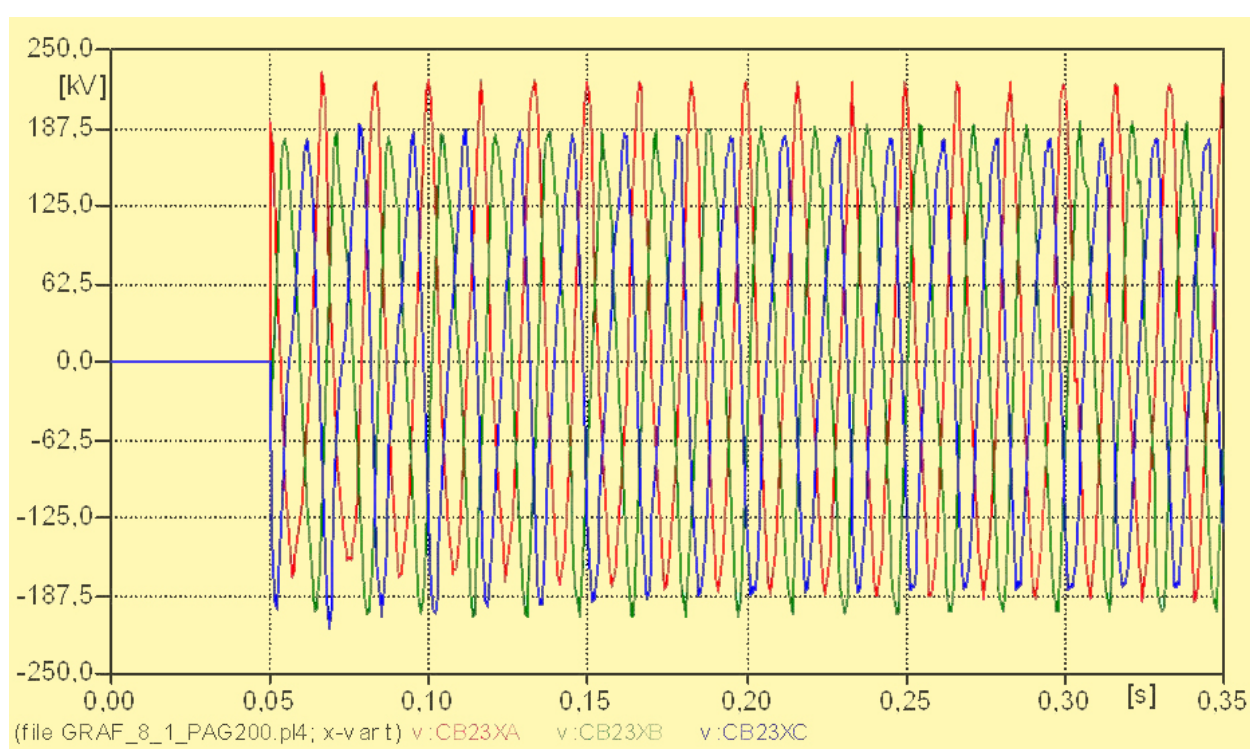
Espaço reservado para as referências relacionadas ao anexo em questão.

## 8. Anexos

Tabela 8.1. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Estatísticos da Energização de Transformador.

| Caso | Config. Sistema<br>(completa ou n-1) | Defeito<br>(Sim ou Não) | Sincronizador<br>(Sim ou Não) | Identificação do terminal da manobra |              |                  |              |                        |                            | Figura N° |
|------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------------|----------------------------|-----------|
|      |                                      |                         |                               | Vpré<br>(pu)                         | Vméd<br>(pu) | $\sigma$<br>(pu) | Vmáx<br>(pu) | Pára-<br>Raios<br>(kJ) | Corrente<br>Inrush<br>(pu) |           |
|      |                                      |                         |                               |                                      |              |                  |              |                        |                            |           |
|      |                                      |                         |                               |                                      |              |                  |              |                        |                            |           |
|      |                                      |                         |                               |                                      |              |                  |              |                        |                            |           |
|      |                                      |                         |                               |                                      |              |                  |              |                        |                            |           |

Figura 8.1. Exemplo Gráfico Sobretensões Manobra de Energização Transformador 230/138/13,8 kV – 100 MVA.



Energização do transformador SE A230/138/13,8KV – 100MVA pelo terminal de 230KV. Sistema íntegro. Sobretensão máxima fase-terra (pu) terminal 230KV da transformação.

Figura 8.2. Exemplo Gráfico Corrente de “Inrush” Manobra de Energização Transformador 230/138/13,8 kV - 100 MVA.

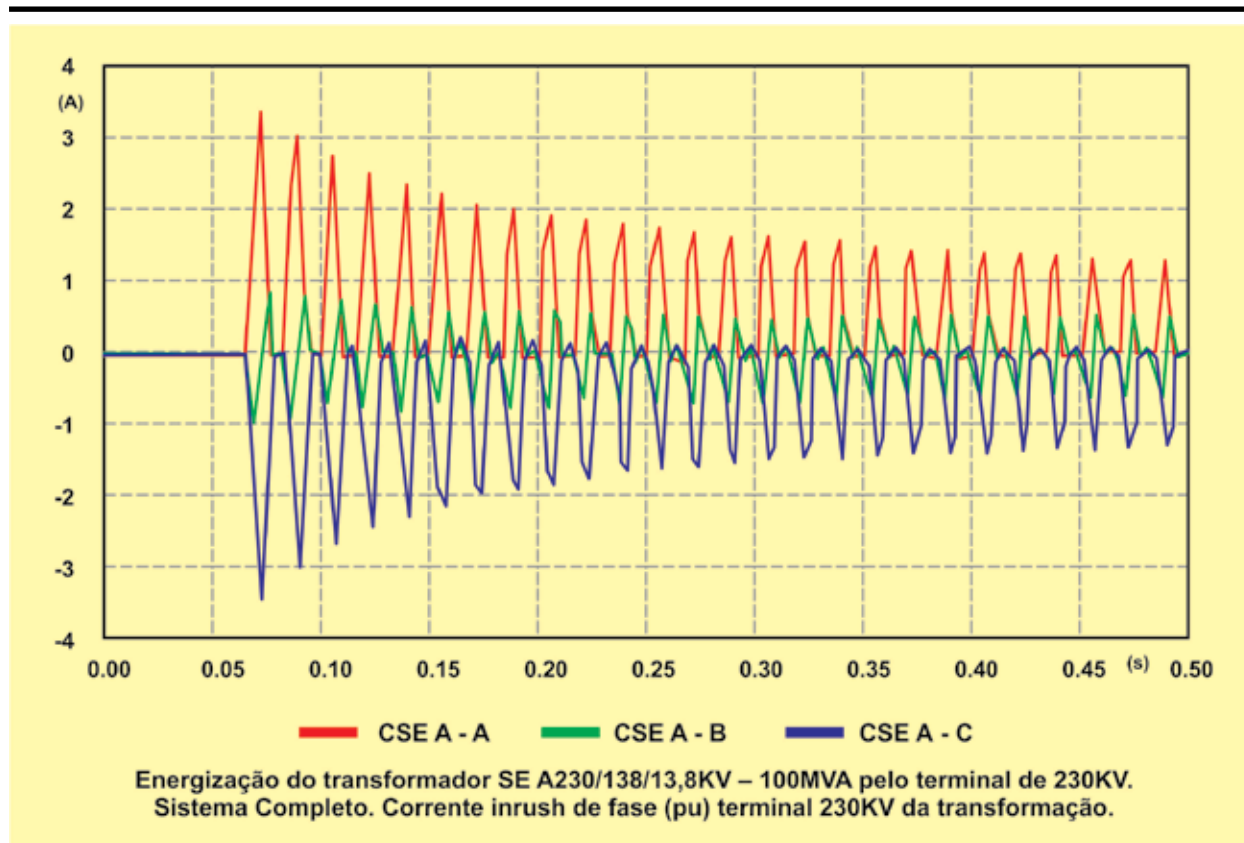
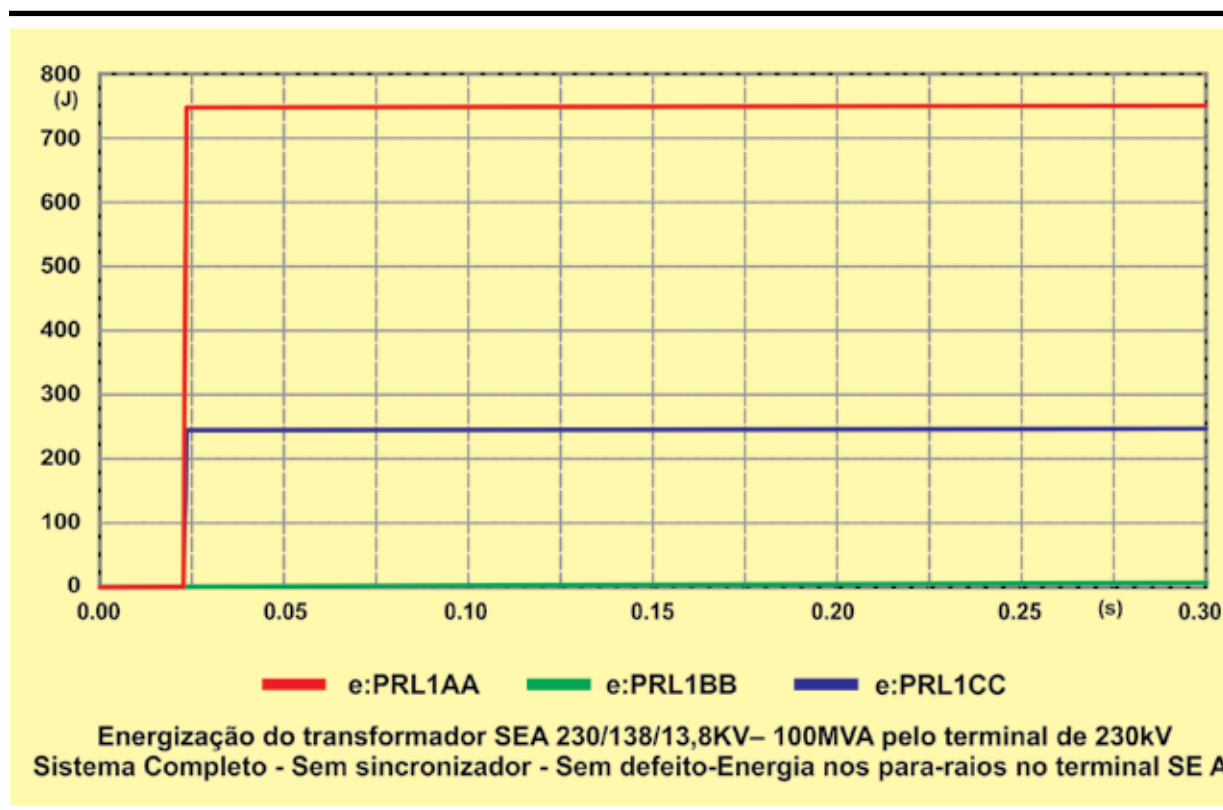
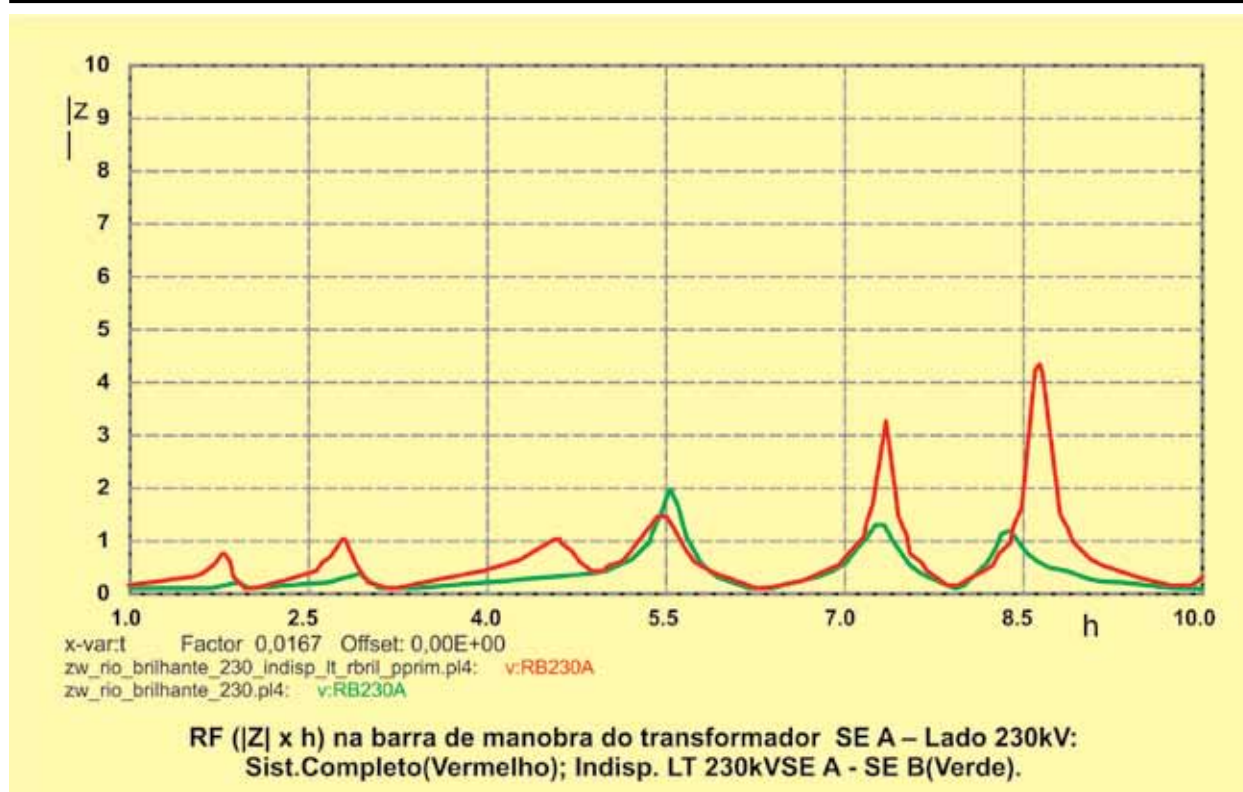


Figura 8.3. Exemplo Gráfico Energia Dissipada nos Para-raios Manobra de Energização Transformador 230/138/13,8 kV - 100 MVA.



**Figura 8.4. Exemplo Gráfico Curva de Variação da Impedância com a Frequência Vista pelo Terminal 230 kV de Manobra de Energização de Transformador 230/138/13,8 kV - 100 MVA.**



## 8.7. TRT, Abertura de Linhas de Transmissão em Vazio, Manobra de Lâminas de Terra de Secionadoras de Aterramento e Assimetria das Correntes de Curto-Circuito

### 1. Introdução e Objetivo

Deve ser apresentado o objetivo do estudo, informando as instalações, as linhas de transmissão e os equipamentos vinculados ao empreendimento, a sua localização física e o ano previsto para a entrada em operação.

Citar que estudos de TRT fazem parte do documento, justificando, caso ocorra, o motivo da não apresentação de algum tipo de estudo solicitado.

Também devem ser mencionados os demais estudos e tipos de análises a ser apresentadas no documento — como o referente às tensões e correntes induzidas em lâminas de terra de seccionadoras e o da assimetria das correntes de curto-circuito.

Informar a(s) norma(s) adotadas como referência para os estudos.

## 2. Conclusões

Devem ser destacadas as conclusões associadas a cada um dos estudos de desenvolvidos:

2.1. Conclusões dos estudos TRT faltas termiais

2.2. Conclusões dos estudos TRT faltas quilométricas

2.3. Conclusões dos estudos TRT abertura em oposição de fases

2.4. Conclusões dos estudos da abertura de linhas em vazio

2.5. Conclusões dos estudos das tensões e correntes induzidas em lâminas de terra de seccionadoras de aterramento

2.6. Conclusões dos estudos da assimetria das correntes de curto-circuito

## 3. Recomendações

Devem ser relacionadas as recomendações quanto aos requisitos de ensaios de TRT dos disjuntores, a aplicação dos valores normalizados ou a necessidade de requisitos especiais.

Quando da necessidade de requisitos especiais, é necessário informar ou referenciar, para envio ao fabricante, os parâmetros que violaram as envoltórias normalizadas.

Devem ser recomendado os requisitos quanto às lâminas de terra da seccionadoras de aterramento (classe A – baixo grau de acoplamento ou classe B- alto grau de acoplamento), ou, caso necessário, submeter à consulta do fabricante os casos especiais.

Recomendar os requisitos quanto à assimetria das correntes de curto-circuito.

## 4. Representação da Rede e Dados Considerados

Aplicam-se as mesmas diretrizes estabelecidas no item 4 do modelo de relatório para os estudos de transitórios eletromagnéticos de energização de linhas de transmissão, religamento tripolar e rejeição de carga, apresentado no item 8.4 do presente documento.

No estudo da TRT, deve incluir-se a informação das capacitâncias parasitas dos componentes da subestação consideradas nas simulações.

## 5. Metodologia Adotada, Premissas e Critérios

### 5.1. Metodologia Adotada

Neste item serão apresentadas as metodologias empregadas nos estudos de TRT, as tensões e correntes induzidas em lâminas de terra de seccionadoras e a assimetria das correntes de curto-circuito.

Também devem ser elencados os parâmetros das simulações.

### 5.2. Premissas e Critérios

Informar neste item as envoltórias normalizadas consideradas nas análises, para cada um dos tipos de estudo de TRT desenvolvido (falta terminal, falta quilométrica, abertura em oposição de fases, abertura de linha em vazio), informando os valores da TRT, TCTRT e o fator de primeiro polo. Citar também a norma utilizada.

Informar — para a análise das tensões e correntes induzidas em lâminas de terra das seccionadoras — os valores de norma adotados, citando a norma.

## 6. Resultados das Simulações

Os resultados das simulações de TRT serão apresentados em tabelas anexas, informando as condições estudadas, as correntes de curto-circuito passante nos disjuntores, os valores da TRTS e TCTRTS, para faltas terminais, as quilométricas, a abertura em oposição de fases e a abertura da linha em vazio.

Os resultados das análises das tensões e correntes induzidas em lâminas de terra das seccionadoras e da assimetria das correntes de curto-circuito devem também ser apresentadas em tabelas.

Apresentar, em anexo ao relatório de estudos, os gráficos com as formas de onda das TRTS.

Apresentar também as principais constatações associadas a cada uma das manobras estudadas em referência aos resultados apresentados nas tabelas e nos gráficos, com as formas de onda das tensões e correntes.

O item 8, a seguir (anexos), contém as sugestões de tabelas para a apresentação dos resultados das simulações, juntamente com exemplos de gráficos com as formas de onda das TRTS.

## 7. Referências

Espaço reservado para as referências relacionadas ao anexo em questão.

## 8. Anexos

Tabela 8.1. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Estudos de TRT - Falta Terminal e Quilométrica.

| Falta     | Local | tipo | Corrente de falta através do disjuntor |     | Sequência de abertura | TRT máxima |    | TCTR máxima |         | Figuras |
|-----------|-------|------|--|-----|-----------------------|------------|----|-------------|---------|---------|
|           |       |      | (A <sub>eficaz</sub> )                 | (%) |                       | Fase       | kV | Fase        | (kV/μs) |         |
| Terminal  | LT    | 3F   |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | barra | 3F   |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | LT    | 3FT  |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | barra | 3FT  |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | LT    | FT   |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | barra | FT   |  |     |                       |            |    |             |         |         |
| Quilomet. | LT    | FT   |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | LT    | FT   |  |     |                       |            |    |             |         |         |
|           | LT    | FT   |  |     |                       |            |    |             |         |         |

Tabela 8.2. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Estudos de TRT Abertura em Oposição de Fases.

| Ângulo de defasagem | Icc – pico (A) | TRT – pico (kV) | Fase | TCTRT (kV/ μs) | Figura |
|---------------------|----------------|-----------------|------|----------------|--------|
|                     |                |                 |      |                |        |
|                     |                |                 |      |                |        |
|                     |                |                 |      |                |        |
|                     |                |                 |      |                |        |
|                     |                |                 |      |                |        |

Tabela 8.3. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Estudos de TRT Abertura de Linha em Vazio.

| Condição Pré Manobra Tensão/Freq. | Sequência de abertura | Defeito fase-terra no Terminal remoto | Corrente da LT em vazio (Apico) | TRT máx. pico (kV) | Fase | TCTRT (kV/μs) | Figura |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------|------|---------------|--------|
|                                   |                       |                                       |                                 |                    |      |               |        |
|                                   |                       |                                       |                                 |                    |      |               |        |

Tabela 8.4. Exemplo de Tabela Apresentação Resulta dos Estudos de TRT Abertura em Linha em Vazio.

| Condição Pré Manobra Tensão/Freq. | Sequência de abertura | Defeito fase-terra no Terminal remoto | Corrente da LT em vazio (Apico) | TRT máx. pico (kV) | Fase | TCTRT (kV/ $\mu$ s) | Figura |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------|------|---------------------|--------|
|                                   |                       |                                       |                                 |                    |      |                     |        |
|                                   |                       |                                       |                                 |                    |      |                     |        |

Tabela 8.5. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Correntes e Tensões Induzidas por Acoplamento Eletromagnético - Lâmina de Terra de Seccionadoras.

| Fase | Indução Eletromagnética no Circuito 1 ( $I_L$ , $V_L$ ) |                  | Carregamento Máximo Circuito Paralelo (A eficaz) |
|------|---|------------------|--|
|      | Corrente (A pico)                                       | Tensão (kV pico) |  |
| A    |   |                  |  |
| B    |   |                  |  |
| C    |   |                  |  |

Nota: (a) Distância entre eixos dos circuitos (circuitos independentes): x metros

(b) Tensão máxima no circuito paralelo: x(kV)

Tabela 8.6. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Correntes e Tensões Induzidas por Acoplamento Eletrostático - Lâmina de Terra de Seccionadoras.

| Fase | Indução Eletrostática no Circuito 1 ( $I_c$ , $V_c$ ) |                  | Carregamento Máximo Circuito Paralelo (A eficaz) |
|------|---|------------------|--|
|      | Corrente (A pico)                                     | Tensão (kV pico) |  |
| A    |   |                  |  |
| B    |   |                  |  |
| C    |   |                  |  |

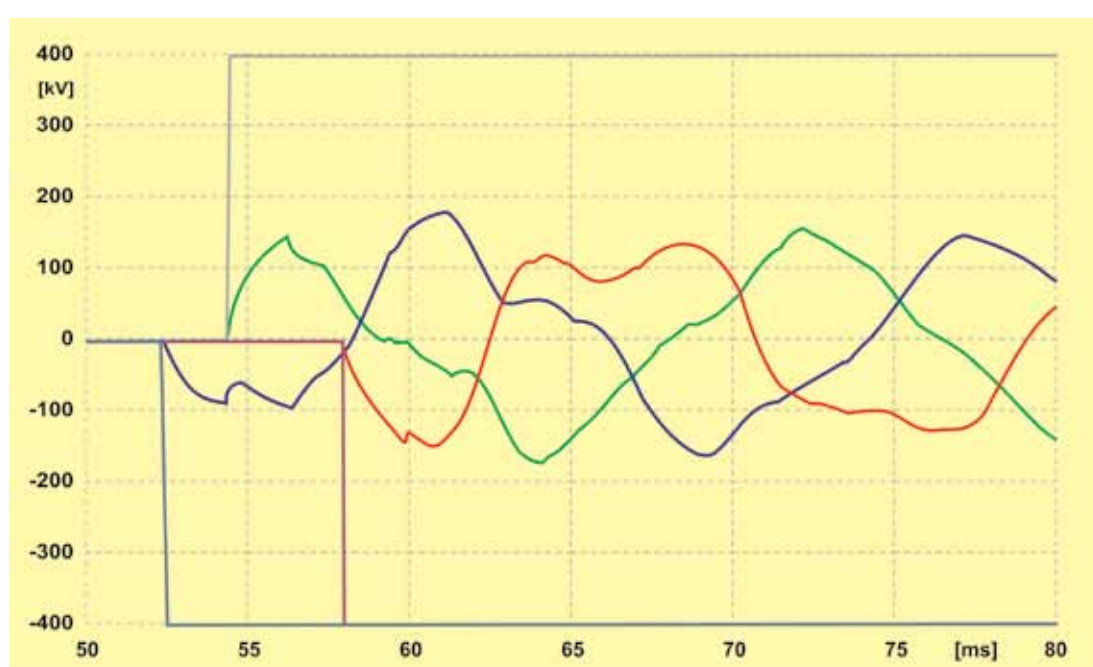
Nota: (a) Distância entre eixos dos circuitos (circuitos independentes): x metros

(b) Tensão máxima no circuito paralelo: x(kV)

Tabela 8.7. Exemplo de Tabela Apresentação Resultados Cálculo Assimetria das Correntes de Curto-circuito.

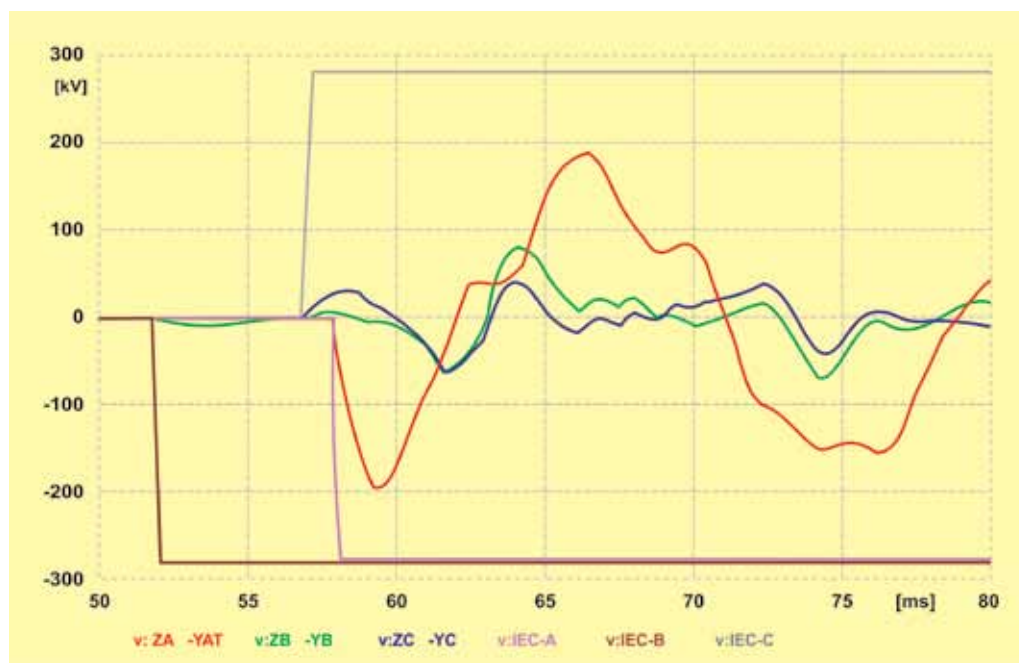
| Subestação | Curto-circuito simétrico (KA) | X/R | $\tau$ (ms) | Fator de Assimetria (f) |
|------------|-------------------------------|-----|-------------|-------------------------|
|            |                               |     |             |                         |
|            |                               |     |             |                         |
|            |                               |     |             |                         |
|            |                               |     |             |                         |

Figura 8.1. Exemplo Gráfico TRT Abertura Falta Terminal com Envoltórias de Norma.



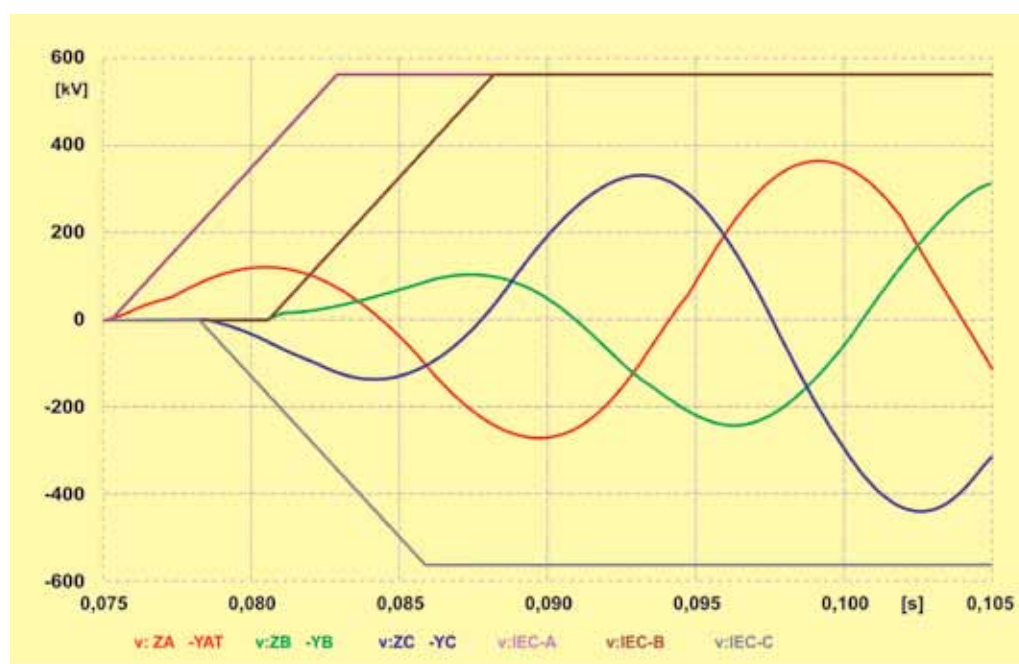
TRT na abertura dos disjuntores da linha 230k VSE-A - SE-B pelo terminal SE-A para defeito tipo terminal (trifásico - não aterrado) no lado linha do disjuntor 245kV.

**Figura 8.2. Exemplo Gráfico TRT Abertura Falta Quilométrica com Envolvórias de Norma.**



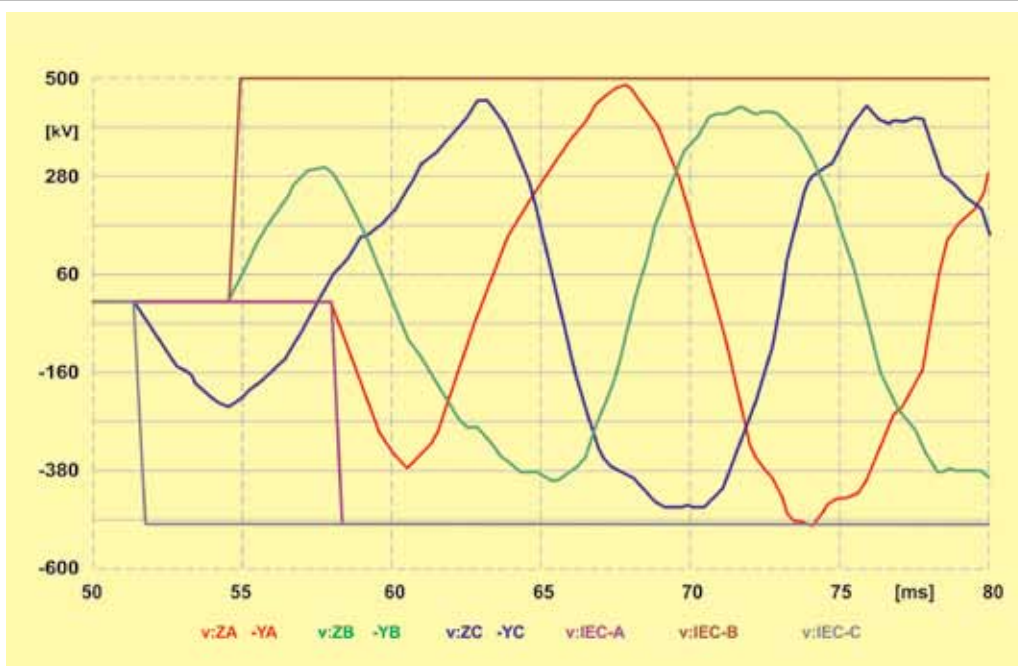
TRT na abertura dos disjuntores da linha 230kV SE-A - SE-B pelo terminal SE-A para defeito quilométrico monofásico (fase A) a 1,76Km do terminal de saída da SE-A, disjuntor 245kV.

**Figura 8.3. Exemplo Gráfico TRT Abertura Linha a Vazio com Envoltórias de Norma.**



TRT na abertura em vazio da linha 230kV SE-A - SE-B pelo disjuntor de 245kV do terminal SE-A, sem falta.

Figura 8.4. Exemplo Gráfico TRT Abertura Linha a Vazio com Envoltórias de Norma.



TRT na abertura em discordância de fase igual a  $180^\circ$ , da linha 230kV SE-A - SE-B, pelo disjuntor de 245kV do terminal SE-A.

## 8.8. Coordenação de Isolamento

### 1. Introdução e Objetivo

Apresentar o objetivo do estudo, informando as subestações com os respectivos vãos de conexões (linhas, transformadores e demais equipamentos) para os quais o estudo de coordenação de isolamento será desenvolvido.

Complementar com considerações, caso necessário — como, por exemplo, a justificativa da não realização do estudo de coordenação de isolamento associado a um determinado pátio da subestação.

### 2. Conclusões

Destacar os valores das máximas solicitações em termos da amplitude das sobretensões impostas aos diferentes equipamentos da subestação, comparando com os respectivos níveis de isolamento dos equipamentos para impulsos atmosféricos.

Também concluir acerca da adequação dos para-raios para a proteção dos equipamentos, no interior das subestações, e das distâncias entre os para-raios e os equipamentos, de acordo com o projeto básico das subestações.

### 3. Recomendações

Recomendar os níveis de isolamento para os equipamentos da subestação, a tensão nominal dos para-raios e as distâncias entre os para-raios e equipamentos da subestação.

## 4. Metodologia Adotada, Premissas e Critérios

### 4.1. Metodologia Adotada

Neste item, deve ser apresentada a metodologia empregada no estudo coordenação de isolamento, tendo como referência as diretrizes estabelecidas no item 3.2.13 do presente documento.

### 4.2. Premissas e Critérios

Devem ser informadas as amplitudes das sobretensões máximas admissíveis para as sobretensões nos diferentes níveis de tensão das subestações, considerando a margem de segurança, que também deve ser informada, em relação ao valor da tensão suportável normalizada de impulso atmosférico (TSNIA) ou BIL dos equipamentos.

Tabela 4.1. Exemplo de Tabela Sobretensões Máximas Admissíveis nas Subestações.

| Tensão Nominal da SE                      | AAAkV | BBBkV |
|---|-------|-------|
| Nível de Isolamento a Impulso Atmosférico |       |       |
| Sobretensão Máxima Admissível             |       |       |

## 5. Dados Utilizados

Neste tópico é necessário informar os seguintes dados principais, utilizados nas modelagens simulações e análises:

### 5.1. Arranjo das Subestações

Apresentar os diagramas unifilares, plantas e cortes, indicando a localização dos equipamentos, com as distâncias envolvidas, correspondentes aos pátios das subestações, por nível de tensão.

### 5.2. Linha de Transmissão

Apresentar os parâmetros das linhas de transmissão com a silhueta da torre típica, indicado as respectivas distâncias entre condutores e cabos para-raios, altura condutor solo.

### 5.3. Para-raios

Apresentar as características dos para-raios considerados para os setores da subestação objeto do estudo.

## 6. Modelagem dos Equipamentos

Apresentar a modelagem dos diversos equipamentos das subestações utilizados na representação no programa ATP, considerando a natureza de alta frequência associada ao fenômeno sob análise.

Os componentes usualmente representados são:

- Linhas de transmissão;
- Barramentos e conexões;
- Para-raios;
- Demais equipamentos (disjuntores, chaves, transformadores de potência, reatores, TCs, TPs).

Apresentar também a forma de onda considerada para a modelagem da descarga atmosférica (amplitude e tempo de frente das descargas diretas e indiretas para cada nível de tensão analisado).

## 7. Configurações Analisadas

Apresentar as configurações das subestações consideradas nas análises, que devem ser completas e degradadas com a redução do número de componentes conectados, objetivando maximizar as sobretensões.

## 8. Resultado das Simulações

A Tabela 8.1 exemplifica a maneira de apresentação das sobretensões verificadas nos componentes da subestação, obtidas por meio da simulação com o programa ATP.

Devem-se apresentar, em anexo ao relatório, os gráficos com as formas de onda das sobretensões e os casos mais críticos, obtidos com o ATP.

Tabela 8.1. Exemplo de Tabela Apresentação dos Resultados das Simulações com o ATP - Máximas Sobreensões Encontradas - Descarga Indireta.

| Caso | Local da descarga | Configuração da SE | Vão de LT | Trafo | Reator | TC | TP | Barra-mento |
|------|-------------------|--------------------|-----------|-------|--------|----|----|-------------|
|      |                   |                    |           |       |        |    |    |             |
|      |                   |                    |           |       |        |    |    |             |
|      |                   |                    |           |       |        |    |    |             |
|      |                   |                    |           |       |        |    |    |             |

9. Anexos

Figura 9.1. Exemplo de Gráfico Apresentação dos Resultados das Simulações com o ATP - Máximas Sobreensões Encontradas - Descarga Indireta na LT 230kV SEA - SEB - Configuração completa.

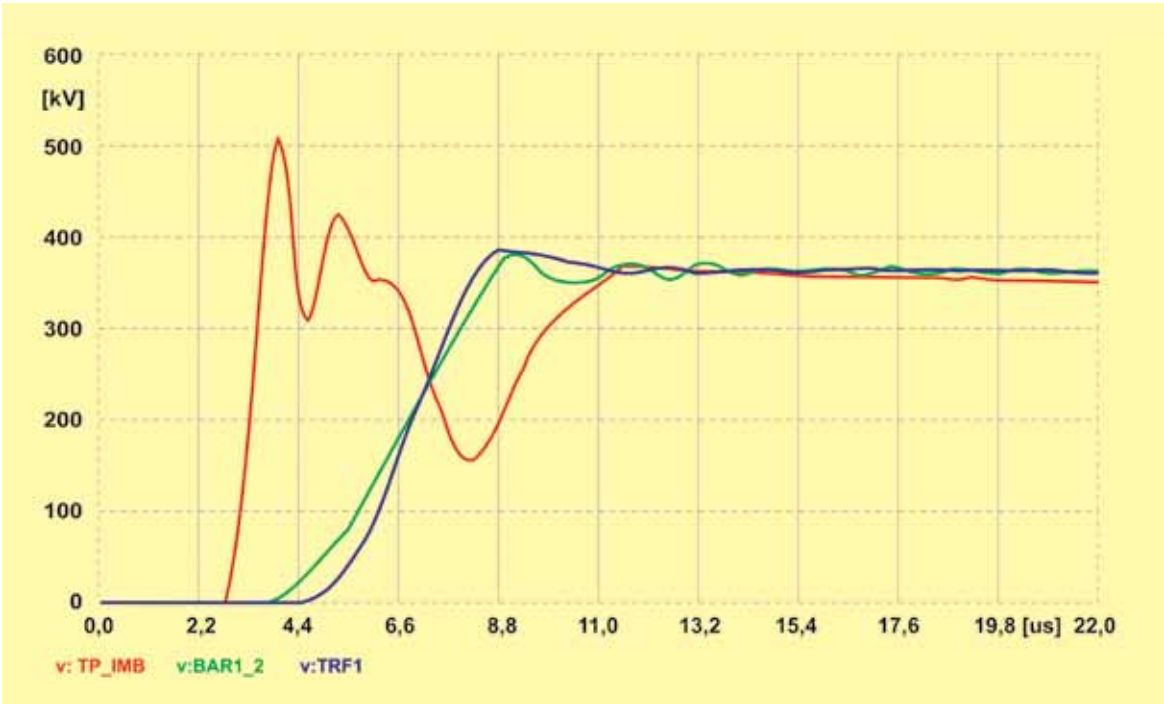
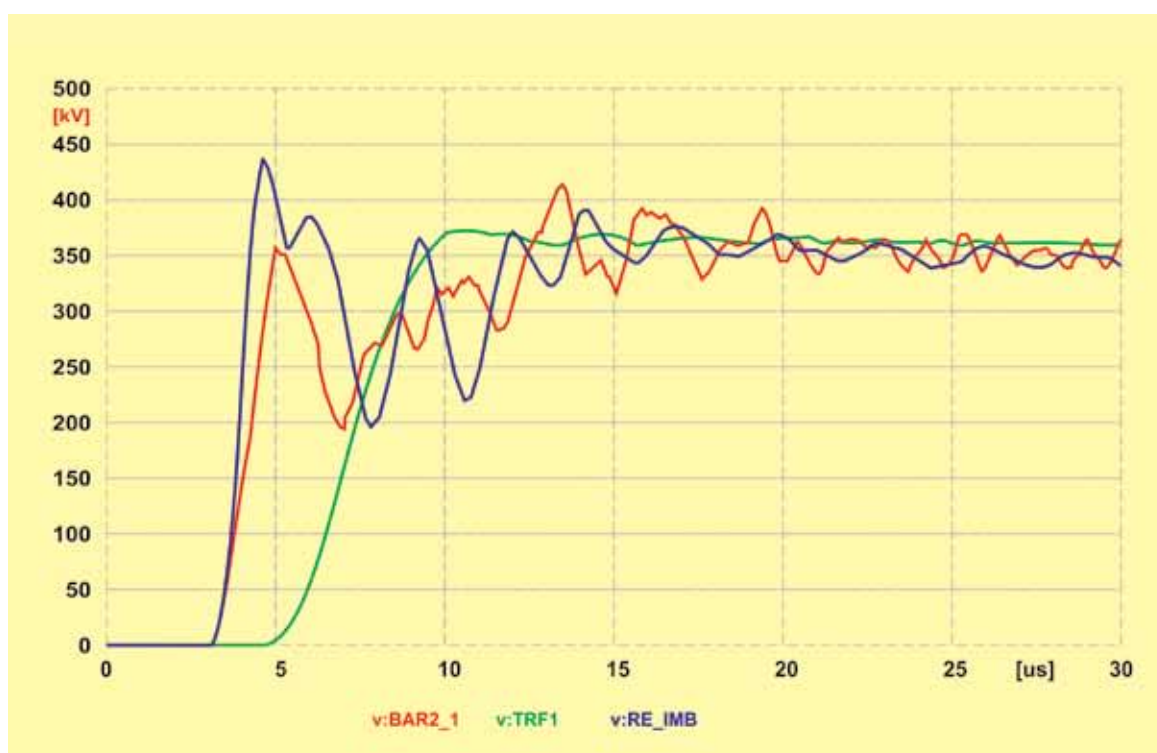


Figura 9.2. Exemplo de Gráfico Apresentação dos Resultados das Simulações com o ATP - Máximas Sobreensões Encontradas - Descarga Indireta na LT 230kV SEA - SEB C1- Configuração Degradada: sem o Segundo Circuito C2 da LT e do Transformador T1.



## 9. Planilhas de Dados Técnicos

A seguir, são apresentadas as planilhas de dados técnicos que devem ser encaminhadas juntamente ao Projeto Básico da nova instalação. Estas contêm as características técnicas dos equipamentos mais relevantes para os estudos de sistema e para a operação da rede.

### 9.1. Transformadores de Potência

| Transformador de Potência   |                     |                              |              |                   |
|---|---------------------|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |                     | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                     |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                     |                              | sim          | sim               |
| 2 - Número operacional  |                     |                              | não          | sim               |
| 3 - Fabricante  |                     |                              | não          | sim               |
| 4 - Norma de especificação  |                     |                              | sim          | sim               |
| 5 - Tipo do transformador (Autotransformador - Banco Monofásico - Defasador - Conversor etc) <sup>(1)</sup> |                     |                              | sim          | sim               |
| 6 - Possui unidade reserva ? Sim / Não <sup>(6)</sup>   |                     |                              | sim          | sim               |
| <b>Características Técnicas</b>   |                     |                              |              |                   |
| 7 - Tensões nominais (kV)   | 7.1 - Primário      |                              | sim          | sim               |
|   | 7.2 - Secundário    |                              | sim          | sim               |
|   | 7.3 - Terciário     |                              | sim          | sim               |
| 8 - Potência nominal por enrolamento (MVA)  |                     |                              | sim          | sim               |
| 9- Corrente de curto-circuito nominal por enrolamento (kA)  | 9.1 - Primário      |                              | sim          | sim               |
|   | 9.2 - Secundário    |                              | sim          | sim               |
|   | 9.3 -Terciário      |                              | sim          | sim               |
| 9 - Potências por estágio de resfriamento NBR 5356 <sup>(2)</sup>   |                     |                              |              |                   |
| 10.1 - Primário (MVA)   | 10.1.1 - 1º estágio |                              | não          | sim               |
|   | 10.1.2 - 2º estágio |                              | não          | sim               |
|   | 10.1.3 - 3º estágio |                              | não          | sim               |
| 10.2 - Secundário (MVA)   | 10.2.1 - 1º estágio |                              | não          | sim               |
|   | 10.2.2 - 2º estágio |                              | não          | sim               |
|   | 10.2.3 - 3º estágio |                              | não          | sim               |
| 10.3 - Terciário (MVA)  | 10.3.1 - 1º estágio |                              | não          | sim               |
|   | 10.3.2 - 2º estágio |                              | não          | sim               |
|   | 10.3.3 - 3º estágio |                              | não          | sim               |
| 11 - Perdas totais (% da potencia nominal)  |                     |                              | sim          | sim               |

| Regulação de Tensão - Local (enrolamento), Faixa e Tipo (fixo,comutável sem/sob carga) de Tapes |                            |        |     |     |
|---|----------------------------|--------|-----|-----|
| 12 - Comutador de derivação sob carga <sup>(3)</sup>  |                            |        | sim | sim |
| 13 - Comutador sem tensão <sup>(4)</sup>  |                            |        | sim | sim |
| Conexões Elétricas e Impedâncias  |                            |        |     |     |
| 14 - Ligação dos enrolamentos<br>(Estrela aterrada, estrela isolada, triângulo)                 | 14.1- Primário             |        | sim | sim |
|   | 14.2- Secundário           |        | sim | sim |
|   | 14.3- Terciário            |        | sim | sim |
| 15 - Impedâncias (%)  | 15.1- Primário-Secundário  |        | sim | sim |
| (base e tensão nominal do equipamento)  | 15.2- Primário-Terciário   |        | sim | sim |
|   | 15.3- Secundário-Terciário |        | sim | sim |
| Carregamentos admissíveis   |                            |        |     |     |
| 16 - Classe térmica (°C)  |                            |        | não | sim |
| 17 - Temperatura ambiente máxima (°C)   |                            |        | não | sim |
| 18 - Máxima temperatura do topo do óleo (°C)  |                            |        | não | sim |
| 19 - Máxima temperatura do ponto mais quente (°C)   |                            |        | não | sim |
| 20 - Emergência de curta duração (MVA x tempo)  |                            |        | sim | sim |
| 21 - Emergência de longa duração (MVA x tempo)  |                            |        | sim | sim |
| 22 - Curva de carregamento especificada   |                            |        | não | sim |
| Tensões máxima e suportável <sup>(5)</sup>  |                            |        |     |     |
| 23 - Máxima do equipamento (kV eficaz)  |                            | / /    | sim | sim |
| 24 - Suportável com impulso de manobra (kV pico)  |                            | / /    | sim | sim |
| 25 - Suportável com impulso atmosférico pleno (kV pico)   |                            | / /    | sim | sim |
| 26 - Suportável à 60 Hz, 1 minuto a seco (kV eficaz)  |                            | / /    | sim | sim |
| 27 - Curva de suportabilidade a sobretensões  |                            | Anexar | sim | sim |
| Outros dados  |                            |        |     |     |
| 28- Perdas em vazio (kW)  |                            |        | não | sim |
| 29- Perdas em carga (kW)  |                            |        | não | sim |
| 30- Curva de saturação (projeto básico: especificada , como construído - medida)                |                            |        | sim | sim |
| Transformadores de corrente de bucha  |                            |        |     |     |
| 31 - Relação de transformação e classe de exatidão  |                            |        | não | sim |
| 31.1 - Enrolamento primário   |                            |        | não | sim |
| 31.2 - Enrolamento secundário   |                            |        | não | sim |
| 31.3 - Enrolamento terciário  |                            |        | não | sim |
| 31.4 - Neutro   |                            |        | não | sim |

(1) Se defasador, informar limites de defasagem

(2) a. Os estágios de resfriamento poderão ser adequados conforme o caso: ON, AN, AF, etc.  
b. As linhas do 2º e 3º estágios de resfriamento deverão ser preenchidas quando aplicável.

(3) Exemplo de preenchimento: 138 kV (+ 15x2,5% - 10x2,5%) ou (138 kV ± 10x1,38 kV)

(4) Exemplo de preenchimento: 345 kV (+ 2x2,5 %) ou (380; 362; 345; 328 kV) ou 550 kV

(5) Enrolamentos de Alta, Baixa e Terciário

(6) Se houver unidade reserva, informar o tempo estimado de substituição

## 9.2. Reatores em Derivação

| Reatores em Derivação  |                              |              |                   |
|--|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição  | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação   |                              | sim          | sim               |
| 2 - Tensão nominal do sistema no ponto de instalação (kV)  |                              | sim          | sim               |
| 3 - Localização do reator (linha de transmissão, barramento, etc)  |                              | sim          | sim               |
| 4 - Manobrável por disjuntor (sim/não) ?   |                              | sim          | sim               |
| 5 - Possui unidade reserva (sim/não) ?   |                              | sim          | sim               |
| 6 - Número operacional   |                              | não          | sim               |
| 7 - Fabricante   |                              | não          | sim               |
| 8 - Norma de especificação   |                              | sim          | sim               |
| <b>Características Elétricas</b>   |                              |              |                   |
| 9 - Potência nominal contínua (Mvar)   |                              | sim          | sim               |
| 10 - Tensão nominal do equipamento (kV - eficaz)   |                              | sim          | sim               |
| 11 - Tensão máxima suportável em condições de emergência (em vazio por 1 hora - kV) - quando utilizado em vão de linha |                              | sim          | sim               |
| 12 - Impedância a 60 Hz  |                              |              |                   |
| 12.1 - Especificada por fase (ohms)  |                              | sim          | não               |
| 12.2 - Tolerâncias de projeto das reatâncias por fase  |                              | sim          | não               |
| Dispersão máxima por fase (%)  |                              |              |                   |
| Afastamento máximo por fase em relação a média das fases (%)   |                              | sim          | não               |
| 12.3 - Medida por fase ( ohms )  |                              |              |                   |
| Fase A   |                              | não          | sim               |
| Fase B   |                              | não          | sim               |
| Fase C   |                              | não          | sim               |
| 13 - Perdas a tensão e frequência nominais (% da potência)   |                              | sim          | sim               |
| 14 - Tensão nominal da bucha de neutro (kV eficaz)   |                              | sim          | sim               |
| 15 - Ligação (estrela aterrada, estrela com neutro isolado, triângulo etc)   |                              | sim          | sim               |
| 16 - Aterramento do neutro (solidamente aterrado, com reatância etc)   |                              | sim          | sim               |
| 17 - Curva de saturação  |                              |              |                   |
| Joelho (pu da tensão nominal da rede)  |                              | sim          | sim               |
| Xac (%)  |                              | sim          | sim               |

| Coordenação de Isolamento dos Enrolamentos do Reator Principal                          |  |     |     |
|---|--|-----|-----|
| 18 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV eficaz)            |  | sim | sim |
| 19 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda cortada (kV eficaz)          |  | sim | sim |
| 20 - Tensão suportável nominal a impulso de manobra (kV crista)                         |  | sim | sim |
| 21 - Tensão suportável nominal a 60 Hz, 1 minuto a seco (kV eficaz)                     |  | sim | sim |
| 22 - Suportabilidades para sobretensões temporárias (tensão x tempo)                    |  | não | sim |
| Reator de neutro, caso aplicável  |  |     |     |
| 23 - Reatância (ohms)   |  | sim | sim |
| 24 - Potência nominal contínua (kvar)   |  | sim | sim |
| 25 - Corrente de curta duração (Aeficaz)  |  | sim | sim |
| 26 - Tensão nominal (kVeficaz)  |  | sim | sim |
| 27 - Para-raios (caso aplicável)  |  |     |     |
| 27.1 - Tensão nominal ( kV)   |  | sim | sim |
| 27.2 - Energia ( kJ/kV )  |  | sim | sim |
| 27.3 - Curva de descarga ( 30 x 60 $\mu$ s )  |  | sim | sim |
| Campos Eletromagnéticos   |  |     |     |
| 27 - Tensão fase-terra, valor eficaz, de início e extinção do corona visual (kV eficaz) |  | sim | sim |
| 28 - Nível máximo de rádio interferência (microvolts a 1000 kHz)                        |  | sim | sim |

### 9.3. Bancos de Capacitores em Derivação

| Capacitor em Derivação   |                              |                              |              |                   |
|--|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição  |                              | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| Dados Gerais   |                              |                              |              |                   |
| 1 - Número operacional do banco  |                              |                              | não          | sim               |
| 2 - Subestação   |                              |                              | sim          | sim               |
| 3 - Tensão nominal do sistema no ponto de instalação (kV)                            |                              |                              | sim          | sim               |
| 4 - Fabricante   |                              |                              | não          | sim               |
| 5 - Norma de especificação   |                              |                              | sim          | sim               |
| Características Elétricas  |                              |                              |              |                   |
| 6 - Tensão nominal do equipamento (kV)   |                              |                              | sim          | sim               |
| 7 - Potência nominal (Mvar)  |                              |                              | sim          | sim               |
| 8 - Ligação trifásica do banco (estrela, neutro aterrado ou isolado, triângulo, etc) |                              |                              | sim          | sim               |
| 9 - Tolerâncias de projeto das capacitâncias por fase (%)                            |                              |                              |              |                   |
| 9.1 - Máxima por fase:   |                              |                              | sim          | não               |
| 9.2 - Afastamento máx. por fase em relação a média das fases                         |                              |                              | sim          | não               |
| 10 - Capacitâncias medidas por fase  |                              |                              |              |                   |
| 10.1 - Fase A:   |                              |                              | não          | sim               |
| 10.2 - Fase B:   |                              |                              | não          | sim               |
| 10.3 - Fase C:   |                              |                              | não          | sim               |
| 11 - Perdas do banco (W / kvar)  |                              |                              | sim          | sim               |
| 12 - Reator série, caso aplicável (ohms)   |                              |                              | sim          | sim               |
| 13 - Para-raios instalados nos terminais do banco (Sim / Não)                        |                              |                              | sim          | sim               |
| 14 - Número operacional do para-raios (caso aplicável)                               |                              |                              | não          | sim               |
| 15 - Níveis de isolamento  | 15.1 - atmosférico, a seco   |                              | sim          | sim               |
| (kV crista)  | 15.2 - de manobra, sob chuva |                              | sim          | sim               |

## 9.4. Disjuntores

| Disjuntor CA e Disjuntor CA utilizado em CC   |  |                              |              |                   |
|---|--|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |  | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Circuito manobrado (linha, transformador, reator, capacitor, vão de transferência etc) - Para disjuntor CA        |  |                              | sim          | sim               |
| 3 - Identificação (por ex. NBS, GRTS, MRTB etc.) - Para disj. CC  |  |                              | sim          | sim               |
| 4 - Número operacional  |  |                              | não          | sim               |
| 5 - Fabricante / Tipo   |  |                              | não          | sim               |
| 6 - Norma de especificação  |  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |  |                              |              |                   |
| 7 - Tensão nominal do equipamento (tensão máxima operativa) (kV)  |  |                              | sim          | sim               |
| 8 - Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 hora (kV eficaz) - quando utilizado em vão de linha |  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Corrente nominal (A)  |  |                              | sim          | sim               |
| 10 - Capacidade de interrupção nominal de curto-circuito (kA - eficaz)  |  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Valor de crista da corrente suportável nominal (kA - crista)   |  |                              | sim          | sim               |
| 12 - Tempos típicos dos contatos principais (ms)  | 12.1 - Abertura                              |                              | sim          | sim               |
|   | 12.2 - Fechamento                            |                              | sim          | sim               |
|   | 12.3 - Dispersão entre polos                 |                              | sim          | sim               |
| 13 - Resistores de fechamento   | 13.1 - Resistência ( $\Omega$ /polo $\pm$ %) |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2 - Pré-inserção (ms)                     |                              | sim          | sim               |
|   | 13.3 - Dispersão entre polos (ms)            |                              | sim          | sim               |
| 14 - Resistores de abertura   | 14.1 - Resistência ( $\Omega$ /polo $\pm$ %) |                              | sim          | sim               |
|   | 14.2 - Dispersão entre polos (ms)            |                              | sim          | sim               |
| 15 - Existência de dispositivo de chaveamento controlado (Sim / Não)  |  |                              | sim          | sim               |
| 16 - Níveis de isolamento (kV crista)   | 16.1 - Atmosférico, a seco                   |                              | sim          | sim               |
|   | 16.2 - Manobra, sob chuva                    |                              | sim          | sim               |
| 17 - Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT)   |  |                              |              |                   |

|   |                                    |  |     |     |
|---|------------------------------------|--|-----|-----|
| 17.1 - Envoltória para interrupção de faltas terminais*:                                | $u_1$ (kV)                         |  | sim | sim |
|   | $t_1$ ( $\mu$ s)                   |  | sim | sim |
|   | $u_C$ (kV)                         |  | sim | sim |
|   | $t_2$ ( $\mu$ s)                   |  | sim | sim |
|   | Fator de 1º pólo                   |  | sim | sim |
| 17.2 - Envoltória para abertura em discordância de fases*:                              | $u_1$ (kV)                         |  | sim | sim |
|   | $t_1$ ( $\mu$ s)                   |  | sim | sim |
|   | $u_C$ (kV)                         |  | sim | sim |
|   | $t_2$ ( $\mu$ s)                   |  | sim | sim |
| 17.3 - Abertura de corrente capacitiva:   | Tensão de crista (kV)              |  | sim | sim |
|   | Tempo de crista da envoltória (ms) |  | sim | sim |
| <b>Níveis de Isolamento</b>   |                                    |  |     |     |
| 18 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico                                    |                                    |  |     |     |
| 18.1 - A terra e entre polos (kV crista)  |                                    |  | sim | sim |
| 18.2 - Entre contatos abertos (kV crista)   |                                    |  | sim | sim |
| 19 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda cortada (kV eficaz)          |                                    |  |     |     |
| 19.1 - A terra e entre polos (kV crista)  |                                    |  | sim | sim |
| 19.2 - Entre contatos abertos (kV crista)   |                                    |  | sim | sim |
| 20 - Tensão suportável nominal a frequência industrial (60 Hz)                          |                                    |  |     |     |
| 20.1 - A terra e entre polos (kV eficaz)  |                                    |  | sim | sim |
| 20.2 - Entre contatos abertos (kV eficaz)   |                                    |  | sim | sim |
| <b>Campos Eletromagnéticos</b>  |                                    |  |     |     |
| 21 - Tensão fase-terra, valor eficaz, de início e extinção do corona visual (kV eficaz) |                                    |  | sim | sim |
| 22 - Nível máximo de rádio interferência (microvolts a 1000 kHz)                        |                                    |  | sim | sim |

(\*) Envoltórias de acordo com NBR IEC 62271-100

## 9.5. Seccionadoras

| Seccionador   |                                       |                              |              |                   |
|---|---------------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |                                       | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                                       |                              |              |                   |
| 1- Subestação   |                                       |                              | sim          | sim               |
| 2 - Número operacional  |                                       |                              | não          | sim               |
| 3 - Localização (linha, transformador, reator, capacitor, vão de transferência etc)                                   |                                       |                              | sim          | sim               |
| 4 - Fabricante / Tipo   |                                       |                              | não          | sim               |
| 5 - Norma de especificação  |                                       |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |                                       |                              |              |                   |
| 6 - Tensão nominal do equipamento (tensão máxima operativa) (kV eficaz)   |                                       |                              | sim          | sim               |
| 7 - Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 hora (kV eficaz) - quando utilizado em vão de linha |                                       |                              | sim          | sim               |
| 8 - Corrente nominal (A eficaz)   |                                       |                              | sim          | sim               |
| 9 - Corrente suportável nominal de curta duração (kA - eficaz)  |                                       |                              | sim          | sim               |
| 10 - Valor de crista da corrente suportável nominal (kA - crista)   |                                       |                              | não          | sim               |
| <b>Níveis de Isolamento</b>   |                                       |                              |              |                   |
| 11 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico  |                                       |                              |              |                   |
| 11.1 - Para a terra e entre polos (kV crista)   |                                       |                              | sim          | sim               |
| 11.2 - Entre os contatos abertos (kV crista)  |                                       |                              | sim          | sim               |
| 12 - Tensão suportável nominal a impulso de manobras  |                                       |                              |              |                   |
| 12.1 - Para a terra e entre polos (kV crista)   |                                       |                              | sim          | sim               |
| 12.2 - Entre os contatos abertos (kV crista)  |                                       |                              | sim          | sim               |
| <b>Lâminas de Aterramento</b>   |                                       |                              |              |                   |
| 13 - Limite Eletromagnético   | 13.1 - corrente induzida (A - eficaz) |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2 - tensão induzida (kV - eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 14 - Limite Eletrostático   | 14.1 - corrente induzida (A - eficaz) |                              | sim          | sim               |
|   | 14.2 - tensão induzida (kV - eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 15 - Norma de especificação   |                                       |                              | sim          | sim               |
| <b>Campos Eletromagnéticos</b>  |                                       |                              |              |                   |
| 16 - Tensão fase-terra, valor eficaz, de início e extinção do corona visual (kV eficaz)                               |                                       |                              | sim          | sim               |
| 17 - Nível máximo de rádio interferência(microvolts a 1000 kHz)   |                                       |                              | sim          | sim               |

## 9.6. Para-raios

| Para-Raios  |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Fabricante / Tipo   |                              | não          | sim               |
| 3 - Norma de especificação  |                              | sim          | sim               |
| 4- Localização (circuito: linha, transformador, reator, capacitor, barramento etc)  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |                              |              |                   |
| 5 - Tensão nominal do pára-raios (kV eficaz fase-terra)   |                              | sim          | sim               |
| 6 - Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 hora (kV eficaz) - quando utilizado em vão de linha                                     |                              | sim          | sim               |
| 7 - Tensão máx de operação contínua - MCOV (kV eficaz fase-terra)   |                              | sim          | sim               |
| 8 - Corrente de descarga nominal (kA - crista)  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Capacidade máxima de absorção de energia (kJ / kV de tensão nominal do para-raios)  |                              | sim          | sim               |
| 10 - Número de colunas  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Tensões residuais máximas para impulsos atmosféricos: onda 8x20 µs - apresentar curva - projeto básico: especificada; como construído: do fabricante |                              | sim          | sim               |
| 12 - Tensão residual máxima para impulsos de manobra: onda 30x60 µs - apresentar curva - projeto básico: especificada; como construído: do fabricante     |                              | sim          | sim               |

Nota : Em caso de empreendimentos CC (patio CA ou CC) incluir, por meio de anexo, o documento que define a coordenação de Isolamento dos patios CA e CC

## 9.7. Transformadores de Corrente

| Transformador de Corrente   |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Fabricante / Tipo   |                              | não          | sim               |
| 3 - Norma de especificação  |                              | sim          | sim               |
| 4 - Circuito (linha, transformador, reator, capacitor, disjuntor, vão de transferência etc)                           |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |                              |              |                   |
| 5 - Tensão máxima de operação contínua (kV)   |                              | sim          | sim               |
| 6 - Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 hora (kV eficaz) - quando utilizado em vão de linha |                              | sim          | sim               |
| 7 - Corrente nominal primária (A eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 8 - Corrente nominal secundária (A eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Corrente suportável nominal de curta duração (kA eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 10 - Valor de crista da corrente suportável nominal (kA crista)   |                              | sim          | sim               |
| 11 - Constante de tempo da componente contínua da corrente de curto-circuito (ms)                                     |                              | sim          | sim               |
| 12 - Fator térmico nominal  |                              |              |                   |
| 12.1 - Núcleo de medição  |                              | sim          | sim               |
| 12.2 - Núcleo de proteção   |                              | sim          | sim               |
| 13 - Número de núcleos  |                              |              |                   |
| 13.1 - Núcleo de medição  |                              | sim          | sim               |
| 13.2 - Núcleo de proteção   |                              | sim          | sim               |
| 14 - Classe de exatidão e carga   |                              |              |                   |
| 14.1 - Núcleo de medição  |                              | sim          | sim               |
| 14.2 - Núcleo de proteção   |                              | sim          | sim               |
| 15 - Relações de transformação nominal disponível   |                              |              |                   |
| 15.1 - Núcleo de medição  |                              | sim          | sim               |
| 15.2 - Núcleo de proteção   |                              | sim          | sim               |
| 16 - Resposta em regime transitório dos núcleos de proteção (tipo/classe)   |                              | sim          | sim               |
| 17 - Curva de saturação   | Anexo                        |              |                   |
| <b>Níveis de Isolamento</b>   |                              |              |                   |
| 18 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 19 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda cortada (kV eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 20 - Tensão suportável nominal a impulso de manobra (kV crista)   |                              | sim          | sim               |
| 21 - Tensão suportável nominal a 60 Hz, 1 minuto a seco (kV eficaz)   |                              | sim          | sim               |

## 9.8. Transformadores de Potencial

| Transformador de Potencial  |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Localização: linha de transmissão (nome/sigla), barramento etc  |                              | sim          | sim               |
| 3 - Fabricante / Tipo   |                              | não          | sim               |
| 4 - Norma de especificação  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |                              |              |                   |
| 5 - Tensão máxima de operação contínua (kV eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 6 - Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 hora (kV eficaz) - quando utilizado em vão de linha |                              | sim          | sim               |
| 7 - Fator de sobretensão  |                              |              |                   |
| 7.1 - Contínuo  |                              | sim          | sim               |
| 7.2 - Durante 30 segundos   |                              | sim          | sim               |
| 8 - Relação de transformação  |                              |              |                   |
| 8.1 - Enrolamento de medição  |                              | sim          | sim               |
| 8.2 - Enrolamento de proteção   |                              | sim          | sim               |
| 9 - Classe de exatidão e carga  |                              |              |                   |
| 9.1 - Enrolamento de medição  |                              | sim          | sim               |
| 9.2 - Enrolamento de proteção   |                              | sim          | sim               |
| <b>Níveis de Isolamento</b>   |                              |              |                   |
| 10 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda plena (kV eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Tensão suportável nominal a impulso atmosférico, onda cortada (kV eficaz)  |                              | sim          | sim               |
| 12 - Tensão suportável nominal a impulso de manobra (kV crista)   |                              | sim          | sim               |
| 13 - Tensão suportável nominal a 60 Hz, 1 minuto a seco e sob chuva (kV eficaz)                                       |                              | sim          | sim               |

## 9.9. Compensadores Estáticos

| Compensador Estático   |                              |              |                   |
|--|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição  | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados gerais</b>  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação   |                              | sim          | sim               |
| 2 - Número operacional   |                              | não          | sim               |
| 3 - Fabricante   |                              | não          | sim               |
| 4 - Norma de especificação   |                              | sim          | sim               |
| 5 - Tensão nominal na barra de conexão (kV)  |                              | sim          | sim               |
| 6 - Diagrama unifilar da instalação  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>  |                              |              |                   |
| 7 - Faixa operativa de tensão na barra de conexão (kV)   |                              | sim          | sim               |
| 8 - Capacidade nominal contínua na barra de conexão do para toda a faixa de tensão operativa (Mvar)  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Configuração ( TCRs, TSCs, capacitores fixos, elementos externos manobráveis, filtros, etc.)   |                              | sim          | sim               |
| 10 - Estatismo (faixa em %)  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Característica de operação tensão x corrente reativa ( VxI)   |                              | sim          | sim               |
| 12 - Reatância nominal (ohms)  |                              | sim          | sim               |
| 13 - Capacidade de sobrecarga ( curva V x t )  |                              | sim          | sim               |
| 14 - Corrente nominal ( A - eficaz )   |                              | sim          | sim               |
| 15 - Corrente de curto circuito no ponto de conexão para dimensionamento dos equipamentos do CER (kA)  |                              | sim          | sim               |
| 16 - Perdas do CER   | anexar gráfico               | sim          | sim               |
| 17 - Número de pulsos das pontes tiristoras  |                              | sim          | sim               |
| 18 - Continuidade operativa: desempenho subtensão x tempo do sistema de refrigeração das válvulas  |                              | sim          | sim               |
| 18- Diagrama em blocos dos sistemas de controle, no domínio da frequência, representado através das funções de transferência, com a respectiva topologia. Devem ser fornecidos os valores dos parâmetros, bem como as suas faixas de ajuste e uma descrição sucinta dos seus significados. |                              | sim          | sim               |
| 19 - Estudos de desempenho harmônico do CER  |                              | sim          | não               |
| 20 - Estudos de dimensionamento do rating dos equipamentos do CER (filtros, etc.)  |                              | sim          | não               |
| 21 - Modelo computacional para simulação de fenômenos transitórios eletromagnéticos no programa ATP  |                              | sim          | sim               |
| 22 - Modelo computacional para simulação de fenômenos transitórios eletromecânicos no programa ANATEM  |                              | sim          | sim               |

## 9.10. Capacitores Série

| Capacitor Série Fixo   |  |                              |              |                   |
|--|--|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição  |  | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>  |  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação   |  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Linha de transmissão (Nomes / Siglas das subestações terminais)  |  |                              | sim          | sim               |
| 3 - Nº operacional / Nº do banco   |  |                              | não          | sim               |
| 4 - Fabricante   |  |                              | não          | sim               |
| 5 - Norma de especificação   |  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características elétricas do banco</b>  |  |                              |              |                   |
| 6 - Tensão nominal dos capacitores série (kV eficaz)   |  |                              | sim          | sim               |
| 7 - Tensão nominal do banco de capacitores série (kV eficaz)   |  |                              | sim          | sim               |
| 8 - Reatância nominal ( $\Omega$ )   | 8.1 - Dos capacitores série                    |                              | sim          | sim               |
|  | 8.2 - Do banco série                           |                              | sim          | sim               |
| 9 - Potência nominal (Mvar)  |  |                              | sim          | sim               |
| 10 - Capacidade de sobrecarga (curva I x t) <sup>1</sup>   |  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Ciclo de operação durante faltas internas e externas na linha de transmissão  |  |                              | sim          | sim               |
| 12 - Tipo de by-pass adotado (por fase ou trifásico )  |  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características da proteção do banco</b>  |  |                              |              |                   |
| 13 - Diagrama unifilar indicando os principais componentes do banco, incluindo o circuito principal (capacitores, circuito de amortecimento, GAP controlado, MOV e disjuntor de by-pass) |  |                              | sim          | sim               |
| 14 - Corrente de swing e tempo associado considerados no projeto (A / s)   |  |                              | sim          | sim               |
| 15 - Nível protetivo (kV pico/pu)  |  |                              | sim          | sim               |
| 16 - Características dos varistores  | 16.1 - Energia máxima dos varistores (MJ/fase) |                              | sim          | sim               |
|  | 16.2 - Tensão nominal (kV - eficaz)            |                              | sim          | sim               |
|  | 16.3 - Característica V x I                    |                              | sim          | sim               |
|  | 16.4 - MCOV (kV -eficaz)                       |                              | sim          | sim               |
| 17 - Tempo de disparo do GAP (ms)  |  |                              | sim          | sim               |
| 18 - Tensão mínima para disparo do GAP ( pu )  |  |                              | sim          | sim               |
| 19 - Ajustes do by-pass  | 19.1 - Iset (kA)                               |                              | sim          | sim               |
|  | 19.2 - Eset (MJ)                               |                              | sim          | sim               |
|  | 19.3 - dE/dt (MJ/ms)                           |                              | sim          | sim               |
| 20 - Tempo de retardo do controle / transmissão ótica do sinal de by-pass s/considerar o retardo correspondente ao disparo do GAP (ms)   |  |                              | sim          | sim               |
| 21 - Tempo de atuação do disjuntor de by-pass (ms)   |  |                              | sim          | sim               |

| Comportamento Térmico do Banco   |                           |     |     |
|--|---------------------------|-----|-----|
| 22 - Temperatura máxima suportável pelas pastilhas do MOV (°C)   |                           | sim | sim |
| 23 - Temperatura máxima atingida pelas pastilhas do MOV nas sequências de falta que definiram o dimensionamento da energia dissipada (°C)  |                           | sim | sim |
| 24 - Curva de resfriamento das pastilhas (temperatura x tempo)   |                           | sim | sim |
| Níveis de Isolamento   |                           |     |     |
| 25 - Tensão máxima operativa a 60 Hz ( kV eficaz )   |                           | sim | sim |
| 26 - Níveis de isolamento da plataforma (kV crista)  | 26.1- Atmosférico, a seco | sim | sim |
|  | 26.2- Manobra, sob chuva  | sim | sim |
| Modelos  |                           |     |     |
| 27 - Fornecer modelo do banco série, no programa ATP, para simulações de transitórios eletromagnéticos, com os retardos inerentes ao sistema de controle/transmissão do sinal, além do disparo do GAP: |                           | sim | sim |
| - O modelo deve representar com fidelidade o by-pass do BCS  |                           | sim | sim |
| - O modelo deve ser documentado c/modelagem blocos implementada no ATP   |                           | sim | sim |
| Demais equipamentos do banco - Chaves seccionadoras  |                           |     |     |
| 28 - Corrente nominal (A)  |                           | sim | sim |
| 29 - Corrente de curto-circuito (kA)   |                           | sim | sim |

Nota : 1 - Informar também a corrente nominal e as correntes para os períodos de 30 minutos, 2 horas e 8 horas. Deve também ser informada a periodicidade permitida para os períodos de sobrecarga e quantas vezes as mesmas podem ser aplicadas ao longo da vida útil do equipamento.

| Capacitor Série Controlado a Tiristor                                 |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| Dados Gerais  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Linha de transmissão (Siglas das subestações terminais SE1 - SE2) |                              | sim          | sim               |
| 3 - N° operacional / N° do banco                                      |                              | sim          | sim               |
| 4 - Fabricante  |                              | não          | sim               |
| 5 - Norma de especificação  |                              | sim          | sim               |
| Características elétricas do banco                                    |                              |              |                   |
| 6 - Tensão nominal dos capacitores série (kV eficaz)                  |                              | sim          | sim               |
| 7 - Tensão nominal do banco de capacitores série (kV eficaz)          |                              | sim          | sim               |
| 8 - Reatância capacitiva nominal ( $\Omega$ )                         |                              | sim          | sim               |
| 9 - Faixa de reatância capacitiva efetiva contínua ( $\Omega$ )       |                              | sim          | sim               |
| 10 - Potência nominal (Mvar)  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Capacidade de sobrecarga (curva I x t) <sup>1</sup>              |                              | sim          | sim               |

|   |  |  |     |     |
|---|--|--|-----|-----|
| 12 - Ciclo de operação durante faltas internas e externas na linha de transmissão   |  |  | sim | sim |
| 13 - Tipo de by-pass adotado (por fase ou trifásico)  |  |  | sim | sim |
| <b>Características da proteção do banco</b>   |  |  |     |     |
| 14 - Diagrama unifilar indicando os principais componentes do banco, incluindo o circuito principal (capacitores, circuito de amortecimento, GAP controlado, MOV e disjuntor de by-pass)  |  |  | sim | sim |
| 15 - Corrente de swing e tempo associado considerados no projeto (A / s)  |  |  | sim | sim |
| 16 - Nível protetivo (kV pico/pu)   |  |  | sim | sim |
| 17 - Características dos varistores   | 17.1 - Energia máxima dos varistores (MJ/fase) |  | sim | sim |
|   | 17.2 - Tensão nominal (kV - eficaz)            |  | sim | sim |
|   | 17.3 - Característica V x I                    |  | sim | sim |
|   | 17.4 - MCOV (kV -eficaz)                       |  | sim | sim |
| 18 - Tempo de disparo do GAP (ms)   |  |  | sim | sim |
| 19 - Tensão mínima para disparo do GAP (pu)   |  |  | sim | sim |
| 20 - Ajustes do by-pass   | 20.1 - Iset (kA)                               |  | sim | sim |
|   | 20.2 - Eset (MJ)                               |  | sim | sim |
|   | 20.3 - dE/dt (MJ/ms)                           |  | sim | sim |
| 21 - Tempo de retardo do controle / transmissão ótica do sinal de by-pass s/considerar o retardo correspondente ao disparo do GAP (ms)  |  |  | sim | sim |
| 22 - Tempo de atuação do disjuntor de by-pass (ms)  |  |  | sim | sim |
| <b>Comportamento Térmico do Banco</b>   |  |  |     |     |
| 23 - Temperatura máxima suportável pelas pastilhas do MOV (°C)  |  |  | sim | sim |
| 24 - Temperatura máxima atingida pelas pastilhas do MOV nas sequências de falta que definiram o dimensionamento da energia dissipada (°C)   |  |  | sim | sim |
| 25 - Curva de resfriamento das pastilhas (temperatura x tempo)  |  |  | sim | sim |
| <b>Níveis de Isolamento</b>   |  |  |     |     |
| 26 - Tensão máxima operativa a 60 Hz ( kV eficaz )  |  |  | sim | sim |
| 27 - Níveis de isolamento da plataforma (kV crista)   | 27.1 - Atmosférico, a seco                     |  | sim | sim |
|   | 27.2 - Manobra, sob chuva                      |  | sim | sim |
| <b>Modelos</b>  |  |  |     |     |
| 28 - Diagrama em blocos dos sistemas de controle, no domínio da frequência, representado através das funções de transferência, com a respectiva topologia. Devem ser fornecidos os valores dos parâmetros, bem como as suas faixas de ajuste e uma descrição sucinta dos seus significados. |  |  | sim | sim |
| 29 - Fornecer modelo do TCSC no programa ANATEM, para avaliação de estabilidade eletromecânica  |  |  | sim | sim |

|  |  |     |     |
|--|--|-----|-----|
| 30 - Fornecer modelo do TCSC, no programa ATP, para simulações de transitórios eletromagnéticos, com os retardos inerentes ao sistema de controle/transmissão do sinal, além do disparo do GAP;<br>- O modelo deve representar com fidelidade o by-pass do BCS<br>- O modelo deve ser documentado c/modelagem blocos implementada no ATP |  | sim | sim |
| <b>Demais equipamentos do banco - Chaves seccionadoras</b>   |  |     |     |
| 31 - Corrente nominal (A)  |  | sim | sim |
| 32 - Corrente de curto-circuito (kA)   |  | sim | sim |

Nota : 1 - Informar também a corrente nominal e as correntes para os períodos de 30 minutos, 2 horas e 8 horas. Deve também ser informada a periodicidade permitida para os períodos de sobrecarga e quantas vezes as mesmas podem ser aplicadas ao longo da vida útil do equipamento.

## 9.11. Bobina de Bloqueio

| Bobina de Bloqueio  |                              |                              |              |                   |
|---|------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |                              | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                              |                              |              |                   |
| 1- Linha (Sigla / Nome)   |                              |                              | sim          | sim               |
| 2- Subestação   |                              |                              | sim          | sim               |
| 3- Fabricante / Tipo  |                              |                              | não          | sim               |
| 4- Normas Técnicas de referência  |                              |                              | sim          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |                              |                              |              |                   |
| 5- Tensão máxima de operação contínua (kV eficaz)   |                              |                              | sim          | sim               |
| 6 - Tensão máxima suportável em condições de emergência durante 1 hora (kV eficaz) - quando utilizado em vão de linha |                              |                              | sim          | sim               |
| 7- Corrente nominal (A - eficaz)  |                              |                              | sim          | sim               |
| 8- Capacidade de sobrecarga (A - eficaz / Horas)  |                              | /                            | sim          | sim               |
| 9 - Corrente suportável nominal de curta duração (kA eficaz)  |                              |                              | sim          | sim               |
| 10 - Valor de crista da corrente suportável nominal (kA crista)   |                              |                              | sim          | sim               |
| 11 - Indutância (mH)  |                              |                              | sim          | sim               |
| 12 - Bandas de frequência (kHz)   |                              |                              | sim          | sim               |
| 13 - Níveis de isolamento (kV crista)   | 13.1 - atmosférico, a seco   |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2 - de manobra, sob chuva |                              | sim          | sim               |

## 9.12. Compensador Síncrono

| Compensador Síncrono  |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Nº operacional  |                              | sim          | sim               |
| 3 - Fabricante  |                              | não          | sim               |
| 4 - Norma de especificação  |                              | não          | sim               |
| <b>Características técnicas</b>   |                              |              |                   |
| 5 - Potência nominal (MVA)  |                              | sim          | sim               |
| 6 - Faixa operativa de tensão (kV) (máxima / mínima)  | /                            | sim          | sim               |
| 7 - Faixa operativa de potência reativa (Mvar)  | /                            | sim          | sim               |
| 8 - Corrente máxima de estator (A)  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Corrente de campo nominal (A)   |                              | sim          | sim               |
| 10 - Corrente de campo máxima (A)   |                              | sim          | sim               |
| 11 - Diagrama em blocos do sistema de excitação (regulador de tensão e excitatriz) incluindo os limitadores existentes, no domínio da frequência, representado através das funções de transferência, com a respectiva topologia. Devem ser fornecidos os valores dos parâmetros, bem como as suas faixas de ajuste e uma descrição sucinta dos seus significados. |                              | sim          | sim               |
| 12 - Curva de saturação   |                              | sim          | sim               |
| 13 - Inércia da máquina (parte girante) - $GD^2$ (t.m <sup>2</sup> )  |                              | sim          | sim               |
| 14 - Constante de inércia - H (MWs / MVA)   |                              | sim          | sim               |
| 15 - Velocidade síncrona (rpm)  |                              | sim          | sim               |
| 16 - Número de polos  |                              | sim          | sim               |
| 17 - C <sup>te</sup> tempo transitória em vazio - eixo direto - $T'_{do}$ (s)   |                              | sim          | sim               |
| 18 - C <sup>te</sup> tempo subtransitória em vazio - eixo direto - $T''_{do}$ (s)   |                              | sim          | sim               |
| 19 - C <sup>te</sup> de tempo transitória em vazio - eixo quadratura - $T'_{qo}$ (s)  |                              | sim          | sim               |
| 20 - Constante de tempo subtransitória em vazio de eixo quadratura - $T''_{qo}$ (s)   |                              | sim          | sim               |
| 21 - Reatância síncrona de eixo direto não saturada - $X_d$ (pu)  |                              | sim          | sim               |
| 22 - Reatância transitória de eixo direto não saturada - $X'_d$ (pu)  |                              | sim          | sim               |
| 23 - Reatância subtransitória de eixo direto não saturada - $X''_d$ (pu)  |                              | sim          | sim               |
| 24 - Reat. síncrona de eixo em quadratura não saturada - $X_q$ (pu)   |                              | sim          | sim               |
| 25 - Reat. transitória eixo em quadratura não saturada - $X'_q$ (pu)  |                              | sim          | sim               |
| 26 - Reat. subtransitória eixo quadratura não saturada - $X''_q$ (pu)   |                              | sim          | sim               |
| 27 - Reatância de Poitier - $X_p$ (pu)  |                              | sim          | sim               |
| 28 - Reatância de dispersão não saturada - $X_L$ (pu)   |                              | sim          | sim               |

|   |  |     |     |
|---|--|-----|-----|
| 29 - Reatância de seqüência negativa não saturada – $X_2$ (pu)  |  | sim | sim |
| 30 - Reatância de seqüência zero não saturada – $X_0$ (pu)      |  | sim | sim |
| 31 - Resistência da armadura em corrente alternada – $R_a$ (pu) |  | sim | sim |
| 32 - Resistência da armadura de seqüência negativa – $R_2$ (pu) |  | sim | sim |
| 33 - Resistência da armadura de seqüência zero – $R_0$ (pu)     |  | sim | sim |
| 34 - Resistência de aterramento – $R_t$ ( $\Omega$ )            |  | sim | sim |
| 35 - Reatância de aterramento – $X_t$ ( $\Omega$ )              |  | sim | sim |
| 36 - Relação de curto-circuito – RCC                            |  | sim | sim |

### 9.13. Reator Limitador de Corrente de Curto-Circuito

| Reator Limitador de Corrente de Curto-Circuito                    |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Tensão nominal do sistema no ponto de instalação (kV)         |                              | sim          | sim               |
| 3 - Localização do reator (linha de transmissão, barramento, etc) |                              | sim          | sim               |
| 5 - Possui unidade reserva (sim/não) ?                            |                              | sim          | sim               |
| 6 - Número operacional  |                              | não          | sim               |
| 7 - Fabricante  |                              | não          | sim               |
| 8 - Norma de especificação  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características Elétricas</b>                                  |                              |              |                   |
| 9 - Potência nominal (Mvar)                                       |                              | sim          | sim               |
| 10 - Frequência (HZ)  |                              | sim          | sim               |
| 11 - Indutância por fase (mH)                                     |                              | sim          | sim               |
| 12 - Impedância nominal (Ohms)                                    |                              | sim          | sim               |
| 13 - Corrente nominal (A)   |                              | sim          | sim               |
| 14 - Tensão Nominal (kV)  |                              | sim          | sim               |
| 15 - Fator de qualidade   |                              | sim          | sim               |
| 16- Resfriamento  |                              | sim          | sim               |
| 17 - Nível de ruído   |                              | sim          | sim               |
| 18 - Queda de tensão por fase (%)                                 |                              | sim          | sim               |
| 19 - Perdas por fase (MW)   |                              | sim          | sim               |
| 20 - Corrente de curta duração (kA, eficaz)                       |                              | sim          | sim               |
| 21 - Valor de crista da corrente de curta duração (kA, crista)    |                              | sim          | sim               |
| 22 - Duração da corrente de curta duração (seg)                   |                              | sim          | sim               |
| 23 - Potência máxima dissipada sob curto-circuito (Mvar)          |                              | sim          | sim               |

## 9.14. Filtro de Harmônicos Passivo

| Filtro de Harmônicos Passivo   |                     |                                 |              |                   |
|--|---------------------|---------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição  |                     | A ser preenchida pelo Agente    | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados gerais</b>  |                     |                                 |              |                   |
| 1- Subestação  |                     |                                 | sim          | sim               |
| 2- Número operacional  |                     |                                 | não          | sim               |
| 3- Tipo de filtro (sintonia simples, dupla sintonia, tripla, high pass, etc.)          |                     |                                 | sim          | sim               |
| 4- Tensão nominal do sistema no ponto de instalação (kV)                               |                     |                                 | sim          | sim               |
| 5- Fabricante  |                     |                                 | não          | sim               |
| <b>Características Elétricas</b>   |                     |                                 |              |                   |
| 6- Tensão nominal do equipamento (kV)  |                     |                                 |              |                   |
| 7- Parâmetros elétricos, como filtro geral (sintonia dupla) <sup>1</sup>               |                     |                                 |              |                   |
| 7.1- Capacitor (ramo série) ( $\mu\text{F}$ )  |                     |                                 | sim          | sim               |
| 7.2- Indutor (ramo série) (mH)   |                     |                                 | sim          | sim               |
| 7.3- Fator de qualidade do indutor (ramo série), para 60 Hz                            |                     |                                 | sim          | sim               |
| 7.4- Capacitor (ramo paralelo) ( $\mu\text{F}$ )                                       |                     |                                 | sim          | sim               |
| 7.5- Indutor (ramo paralelo) (mH)  |                     |                                 | sim          | sim               |
| 7.6- Fator de qualidade do indutor (ramo paralelo), p/ 60 Hz                           |                     |                                 | sim          | sim               |
| 7.7- Resistor (ramo paralelo) <sup>2</sup> ( $\Omega$ )                                |                     |                                 | sim          | sim               |
| 8- Localização do resistor do ramo paralelo <sup>2</sup> (série/paralelo)              |                     |                                 | sim          | sim               |
| 9- Potência nominal trifásica do filtro (Mvar)   |                     |                                 | sim          | sim               |
| 10- Ligação trifásica do filtro (estrela, neutro aterrado ou isolado, triângulo, etc.) |                     |                                 | sim          | sim               |
| 11- Perda máxima trifásica do filtro (kW)  |                     |                                 | sim          | sim               |
| 12- Dimensionamento dos componentes em Regime Permanente                               |                     |                                 |              |                   |
| Suportabilidade  | Tensão máxima (kVp) | Corrente térmica máxima (kArms) |              |                   |
| 12.1- Capacitor (ramo série)   |                     |                                 | sim          | sim               |
| 12.2- Indutor (ramo série)   |                     |                                 | sim          | sim               |
| 12.3- Capacitor (ramo paralelo)  |                     |                                 | sim          | sim               |
| 12.4- Indutor (ramo paralelo)  |                     |                                 | sim          | sim               |
| 12.5- Resistor (ramo paralelo) <sup>2</sup>  |                     |                                 | sim          | sim               |

1. Indicar como zero ou infinito os valores para os ramos inexistentes, dependendo do caso

2. O resistor dos filtros de dupla sintonia pode estar em paralelo ou em série com o indutor do ramo paralelo

Nota: Deve ser anexado um diagrama completo do filtro identificando todos os seus elementos, cujos valores devem ser explicitados na tabela acima.

## 9.15. Capacitores Série

| Válvulas Retificadora                               |  |                              |              |                   |
|---|--|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |  | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>                                 |  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação                                      |  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Número operacional                              |  |                              | não          | sim               |
| 3 - Fabricante                                      |  |                              | sim          | sim               |
| 4 - Norma de especificação                          |  |                              | sim          | sim               |
| 5 - Tipo de construção (alvenaria, container, etc.) |  |                              | sim          | sim               |
| 6 - Tipo de montagem (suspensa, com base, etc.)     |  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características Técnicas</b>                     |  |                              |              |                   |
| 7 - Tipo de isolamento (ar, etc.)                   |  |                              | sim          | sim               |
| 8 - Elemento refrigerante (água, etc.)              |  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Descrição                                       | 9.1 - Tipo (dupla, quádrupla, óctupla, etc.) |                              | sim          | sim               |
|   | 9.2 - Nº de válvulas por polo                |                              | sim          | sim               |
| 10 - Tiristor                                       | 10.1 - Tipo                                  |                              | sim          | sim               |
|   | 10.2 - Quantidade por válvula                |                              | sim          | sim               |
|   | 10.3 - Nº de elementos redundantes           |                              | sim          | sim               |
|   | 10.4 - Nº de módulos tiristores              |                              | sim          | sim               |
| 11 - Faixa de Corrente (A)                          | 11.1 - Nominal                               |                              | sim          | sim               |
|   | 11.2 - Mínima                                |                              | sim          | sim               |
|   | 11.3 - Máxima                                |                              | sim          | sim               |
|   | 11.4 - Sobrecarga                            |                              | sim          | sim               |
| 12 - Faixa de Tensão (kV)                           | 12.1 - Nominal, polo-terra                   |                              | sim          | sim               |
|   | 12.2 - Máxima, polo-terra                    |                              | sim          | sim               |
|   | 12.3 - Reduzida, polo-neutro                 |                              | sim          | sim               |
|   | 12.4 - Máxima na barra de neutro             |                              | sim          | sim               |
| 13 - Ângulos de controle (°el)                      | Retificador                                  |                              | sim          | sim               |
|   | 13.1 - Nominal                               |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2 - Mínimo                                |                              | sim          | sim               |
|   | 13.3 - Máximo                                |                              | sim          | sim               |
|   | Inversor                                     |                              | sim          | sim               |
|   | 13.4 - Nominal                               |                              | sim          | sim               |
|   | 13.5 - Mínimo                                |                              | sim          | sim               |
|   | 13.6 - Máximo                                |                              | sim          | sim               |
|   | 13.7 - Mínimo absoluto                       |                              | sim          | sim               |
|   | 13.8 - Máximo como função da corrente        |                              | sim          | sim               |

|  |   |  |     |     |
|--|---|--|-----|-----|
| 14 - Reatância de comutação  | 14.1 - Nominal (pu ou %)                                    |  | sim | sim |
|  | 14.2 - Mínimo (pu ou %)                                     |  | sim | sim |
|  | 14.3 - Máximo (pu ou %)                                     |  | sim | sim |
|  | 14.4 - Base potência (MVA) ou corrente (A)                  |  | sim | sim |
|  | 14.5 - Base tensão (kV)                                     |  | sim | sim |
|  | 14.6 - Contribuição de filtro PLC (pu ou %)                 |  | sim | sim |
| 15 - Capacitor de comutação (CCC)                                      | 15.1 - Capacitância ( $\mu\text{F}$ )                       |  | sim | sim |
|  | 15.2 - Contribuição para a reatância de comutação (pu ou %) |  | sim | sim |
| 16 - Corrente de curto-circuito (kA)                                   |   |  | sim | sim |
| 17 - Níveis de isolamento através da válvula (kV)                      | 17.1 - SIPL/SIWL  |  | sim | sim |
|  | 17.2 - LIPL/LIWL  |  | sim | sim |
|  | 17.3 - FWPL/FWWL  |  | sim | sim |
| 18 - Sobreensão mínima para seleção do nível do disparo protetivo (kV) |   |  | sim | sim |
| 19 - Valor de perdas garantido (%)                                     |   |  | sim | sim |
| 20 - O relatório do Circuito Principal deverá ser anexado.             |   |  |     |     |

## 9.16. Reator de Alisamento

| Reator de Alisamento  |                                  |                              |              |                   |
|---|----------------------------------|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |                                  | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| Dados Gerais  |                                  |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                                  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Localização do reator (barra CC, barra de neutro, etc.) |                                  |                              | sim          | sim               |
| 3 - Número operacional                                      |                                  |                              | não          | sim               |
| 4 - Fabricante  |                                  |                              | sim          | sim               |
| 5 - Norma de especificação                                  |                                  |                              | sim          | sim               |
| Características Elétricas                                   |                                  |                              |              |                   |
| 6 - Indutância  | 6.1 - Nominal (mH)               |                              | sim          | sim               |
|   | 6.2 - Tolerância (%)             |                              | sim          | sim               |
| 7 - Faixa de corrente (A)                                   | 7.1 - Nominal                    |                              | sim          | sim               |
|   | 7.2 - Sobrecarga                 |                              | sim          | sim               |
|   | 7.3 - Harmônica (incluir tabela) |                              | sim          | sim               |
| 8 - Corrente de curto-circuito (kA)                         |                                  |                              | sim          | sim               |
| 9 - Tensão nominal para terra (kV)                          |                                  |                              | sim          | sim               |
| 10 - Níveis de isolamento (kV)                              | 17.1 - SIPL/SIWL                 |                              |              |                   |
|   | 17.1.1 - Para terra              |                              | sim          | sim               |
|   | 17.1.2 - Através do reator       |                              | sim          | sim               |
|   | 17.2 - LIPL/LIWL                 |                              |              |                   |
|   | 17.2.1 - Para terra              |                              | sim          | sim               |
|   | 17.2.2 - Através do reator       |                              | sim          | sim               |

## 9.17. Filtro PLC

| Filtro PLC  |                              |              |                   |
|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados gerais</b>   |                              |              |                   |
| 1 - Subestação  |                              | sim          | sim               |
| 2 - Número operacional  |                              | não          | sim               |
| 3 - Localização   |                              | sim          | sim               |
| 4 - Fabricante  |                              | sim          | sim               |
| 5 - Norma de especificação  |                              | sim          | sim               |
| <b>Características Elétricas</b>  |                              |              |                   |
| 6 - Tensão nominal do equipamento (kV)  |                              |              |                   |
| 7 - Parâmetros elétricos  |                              |              |                   |
| 7.1 - Indutor (ramo série) (mH)   |                              | sim          | sim               |
| 7.2 - Fator de qualidade do indutor (ramo série), para 60 Hz  |                              | sim          | sim               |
| 7.3 - Descrição da unidade de sintonia incluindo para-raios e níveis de proteção do indutor (ramo série)  |                              | sim          | sim               |
| 7.4 - Capacitor (ramo paralelo) (μF)  |                              | sim          | sim               |
| 7.5 - Descrição da unidade de sintonia incluindo para-raios e níveis de proteção do capacitor (ramo paralelo)                                     |                              | sim          | sim               |
| 8 - Potência nominal trifásica do filtro (Mvar)   |                              | sim          | sim               |
| 9 - Deve ser anexado um diagrama completo do filtro, identificando todos os seus elementos, cujos valores devem ser explicitados na tabela acima. |                              |              |                   |

## 9.18. Linha de Transmissão em Corrente Alternada e Contínua

| Linha de Transmissão CA e CC  |   |                              |              |                   |
|---|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |   |                              |              |                   |
| 1- Siglas / Nomes das subestações terminais   | 1.1- Subestação 1                               |                              | sim          | sim               |
|   | 1.2- Subestação 2                               |                              | sim          | sim               |
| 2- Número de circuitos por estrutura  |   |                              | sim          | sim               |
| 3- Tensão nominal do sistema (kV)   |   |                              | sim          | sim               |
| 4- Normas de projeto  |   |                              | sim          | sim               |
| 5- Tensão máxima de operação em regime permanente (kV)  |   |                              | sim          | sim               |
| 6- Extensão da linha (km)   |   |                              | sim          | sim               |
| 7- Vão médio (m)  |   |                              | sim          | sim               |
| 8- Geoposicionamento dos vértices   |   |                              | não          | sim               |
| <b>Características Básicas</b>  |   |                              |              |                   |
| 9- Cabos fase: Tipo da estrutura predominante indicando as distâncias dos grupamentos das fases ou polos (LT CC) ao eixo da torre e as distâncias à torre; a altura média dos cabos fase; a altura dos cabos no meio do vão típico; a distâncias ao eixo da torre; as configurações de condutores (tipo do condutor, bitola, espaçamento entre sub-condutores etc); e cadeias (tipo, nº de isoladores para a cadeia típica etc) |   |                              | sim          | sim               |
| 10- Cabos pára-raios: Tipo da estrutura predominante indicando a disposição dos cabos pára-raios em relação à torre e aos cabos condutores (distâncias ao eixo da torre; altura em relação ao solo; espaçamento entre cabos para-raios; tipo do cabo pára-raios:convencional, OPGW etc)   |   |                              | sim          | sim               |
| 11- Esquema de transposição de fases (LT CA)  |   |                              | sim          | sim               |
| 12- Pontos de troca dos cabos pára-raios de diferentes bitolas (LT CA)  |   |                              | sim          | sim               |
| 13- Capacidade de carregamento  | 13.1- Norma técnica de referência               |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2- Capacidade operativa de longa duração (A) |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2- Capacidade operativa de curta duração (A) |                              | sim          | sim               |
| 14- Condições ambientais típicas  | 14.1- Temperatura ambiente média (°C)           |                              | sim          | sim               |
|   | 14.2- Radiação solar (watts/m²)                 |                              | sim          | sim               |
|   | 14.3- Velocidade do vento (m/s)                 |                              | sim          | sim               |

| Parâmetros Elétricos de Sequência (LT CA) ou de polo (LT CC)  |  |  |     |     |
|---|--|--|-----|-----|
| 15- Parâmetros elétricos e ambientais   |  |  |     |     |
| 15.1- Temperatura média dos condutores (°C)   |  |  | sim | sim |
| 15.2- Temperatura média da região (°C)  |  |  | sim | sim |
| 15.3- Seqüência positiva - LT CA ( $\Omega/\text{km}$ )   | 15.3.1- Resistência  |  | sim | sim |
|   | 15.3.2- Reatância  |  | sim | sim |
|   | 15.3.3- Susceptância Capacitiva  |  | sim | sim |
| 15.4- Seqüência zero - LT CA ( $\Omega/\text{km}$ )   | 15.4.1- Resistência  |  | sim | sim |
|   | 15.4.2- Reatância  |  | sim | sim |
|   | 15.4.3- Susceptância Capacitiva  |  | sim | sim |
| 15.5- Resistência por polo linha - LT CC ( $\Omega$ )   |  |  | sim | sim |
| 16- Impedância(s) mútua(s) entre trechos de linhas CA paralelas, independentemente do nível de tensão e do proprietário. Caso exista mais de um trecho em paralelo, informar dados em Tabela anexa. | 16.1- Reatância de seqüência zero ( $\Omega/\text{km}$ )   |  | sim | sim |
|   | 16.2- Distância(s) entre eixos as torres de circuitos paralelos em uma mesma faixa de passagem (m) |  | sim | sim |
|   | 16.3- Comprimento(s) dos trechos de circuitos paralelos (km)                                       |  | sim | sim |
| 17- Resistividade do solo e resistência de pé de torre  | 17.1- Resistividade média ( $\Omega \times \text{m}$ )   |  | sim | sim |
|   | 17.2- Resistência média de pé de torre ( $\Omega$ )  |  | sim | sim |
| 18- Resistência, reatância e susceptância equivalentes série da linha CA, incluindo a correção hiperbólica para seu comprimento, na base de 100 MVA e na tensão nominal do sistema                  | 18.1- Resistência (%)  |  | sim | sim |
|   | 18.2 - Reatância (%)   |  | sim | sim |
|   | 18.3- Susceptância (Mvar)  |  | sim | sim |
| 19 - Máxima sobretensão fase-terra admissível para surtos de manobra - LT CA (pu)   |  |  | sim | sim |
| 20 - Máxima sobretensão fase-fase admissível para surtos de manobra - LT CA (pu)  |  |  | sim | sim |
| 21 - Máxima sobretensão polo-terra admissível ao longo da linha - LT CC (pu)  |  |  | sim | sim |

Nota: Deve ser apresentado, em anexo, o desenho da torre típica.

## 9.19. Linha de Transmissão Subterrânea em Corrente Alternada

| Linha de Transmissão Subterrânea  |   |                              |              |                   |
|---|---|------------------------------|--------------|-------------------|
| Descrição   |   | A ser preenchida pelo Agente | Proj. Básico | Como Ef. Implant. |
| <b>Dados Gerais</b>   |   |                              |              |                   |
| 1- Siglas / Nomes das subestações terminais   | 1.1- Subestação 1                                     |                              | sim          | sim               |
|   | 1.2- Subestação 2                                     |                              | sim          | sim               |
| 2- Número de circuitos  |   |                              | sim          | sim               |
| 3- Tensão nominal do sistema (kV)   |   |                              | sim          | sim               |
| 4- Normas de projeto  |   |                              | sim          | sim               |
| 5 - Tensão máxima de operação em regime permanente (kV)   |   |                              | sim          | sim               |
| 6 - Extensão da linha (km)  |   |                              | sim          | sim               |
| 7 - Lance médio (m)   |   |                              | sim          | sim               |
| 8 - Geoposicionamento das caixas de emendas   |   |                              | sim          | sim               |
| <b>Características Básicas</b>  |   |                              |              |                   |
| 9- Cabos fase : Tipos de métodos construtivos predominantes indicando a largura e profundidade da instalação; a formação dos cabos condutores no circuito; as distâncias entre cabos condutores no circuito e as distâncias entre circuitos; constituição do cabo condutor (material do condutor, bitola, material do isolante, material da capa externa); material de envoltória (backfill). |   |                              | sim          | sim               |
| 10 - Blindagem do cabo condutor : tipo e material da blindagem; tipo e esquema do sistema de aterramento  |   |                              | sim          | sim               |
| 11 - Esquema de transposição de fases   |   |                              | sim          | sim               |
| 12- Capacidade de carregamento  | 12.1- Norma(s) técnica(s) de referência               |                              | sim          | sim               |
|   | 12.2- Capacidade operativa de longa duração (A)       |                              | sim          | sim               |
|   | 12.3- Capacidade operativa de curta duração (A)       |                              | sim          | sim               |
| 13 - Condições Ambientais Típicas   | 13.1 - Média das máximas temperaturas ambiente (°C)   |                              | sim          | sim               |
|   | 13.2 - Máxima temperatura do solo (°C)                |                              | sim          | sim               |
|   | 13.3 - Resistividade térmica do solo natural (°C.m/W) |                              | sim          | sim               |
|   | 13.4 - Resistividade do backfill seco (°C.m/W)        |                              | sim          | sim               |

| Parâmetros Elétricos   |   |  |     |     |
|--|---|--|-----|-----|
| 14 - Resistência e reatância série da LTS, em 60 Hz, na temperatura média dos condutores e na temperatura média do solo na região  |   |  |     |     |
| 14.1- Temperatura média dos condutores (°C)  |   |  | sim | sim |
| 14.2- Temperatura média do solo na região (°C)   |   |  | sim | sim |
| 15 - Resistência do Conductor em CA na temperatura de operação ( $\Omega/\text{km}$ )  |   |  | sim | sim |
| 16 - Resistência da Blindagem em CA na temperatura de operação ( $\Omega/\text{km}$ )  |   |  | sim | sim |
| 17 - Reatância do Conductor ( $\Omega/\text{km}$ )   |   |  | sim | sim |
| 18 - Reatância da Blindagem ( $\Omega/\text{km}$ )   |   |  | sim | sim |
| 19 - Capacitância do Cabo ( $\mu\text{F}/\text{km}$ )  |   |  | sim | sim |
| 20 - Sequência positiva ( $\Omega/\text{km}$ )   | 20.1- Resistência   |  | sim | sim |
|  | 20.2- Reatância   |  | sim | sim |
| 21 - Sequência zero ( $\Omega/\text{km}$ )   | 21.1- Resistência   |  | sim | sim |
|  | 21.2- Reatância   |  | sim | sim |
| 22- Capacitância da LTS  | 22.1 - Sequência positiva                                   |  | sim | sim |
|  | 22.2 - Sequência zero                                       |  | sim | sim |
| 23 - Impedância(s) mútua(s) entre trechos de linhas paralelas, independente do nível de tensão e do proprietário   | 23.1- Reatância de sequência zero ( $\Omega/\text{km}$ )    |  | sim | sim |
|  | 23.2- Distância(s) entre centros dos circuitos paralelos    |  | sim | sim |
| Obs: caso existam mais de um trecho em paralelo, informar dados em Tabela anexa.   | 23.3- Comprimento(s) dos trechos de circuitos paralelos (m) |  | sim | sim |
| 24 - Resistividade do solo e resistência do aterramento nas caixas de emendas  | 24.1- Resistividade média ( $\Omega.\text{m}$ )             |  | sim | sim |
|  | 24.2- Resistência média do aterramento ( $\Omega$ )         |  | sim | sim |
| 25 - Resistência, reatância e susceptância equivalentes série da linha, incluindo a correção hiperbólica para seu comprimento, na base de 100 MVA e na tensão nominal do sistema | 25.1- Resistência (%)                                       |  | sim | sim |
|  | 25.2- Reatância (%)   |  | sim | sim |
|  | 25.3- Susceptância (Mvar)                                   |  | sim | sim |
| 26 -Tensão induzida na blindagem sob operação normal (V/km)  |   |  | sim | sim |
| 27 - Máxima sobretensão fase-terra admissível para manobras (pu)   |   |  | sim | sim |
| 28 - Máxima sobretensão fase-fase admissível para manobras (pu)  |   |  | sim | sim |





**[ons.org.br](http://ons.org.br)**